

Aus der Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie
Geschäftsführender Direktor: Univ. - Prof. Dr. med. H. Wulf
Des Fachbereich Humanmedizin der Philipps – Universität zu Marburg
Des Universitätsklinikum Gießen und Marburg, Standort Marburg

In Zusammenarbeit mit der
Abteilung für Anästhesie und operative Intensivmedizin
Chefärztin: Prof. Dr. med. D. H. Bremerich
St. Vincenz-Krankenhaus in Limburg/Lahn
Akademisches Lehrkrankenhaus der Justus-Liebig-Universität

Dissertation

Effektivität der Herz-Druck-Massage während des Basic-Life-Support von professionellen Helfern unter verschiedenen klimatischen Umgebungsbedingungen

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Medizin

Dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

Vorgelegt von

Rüdiger Wirth
aus Burghaun

Marburg 2011

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

Am 15. 02. 2011

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Rothmund

Referent: Prof. Dr. med. Leopold H. J. Eberhart

Co-Referent: Prof. Dr. med. Jürgen Schäfer

Inhaltsverzeichnis		Seite
	Titelblatt	
	Inhaltsverzeichnis	2
	Abkürzungsverzeichnis	7
1.	Einleitung	9
1.1.	Thema	9
1.1.1.	Klassifizierung der Empfehlungen zur kardiopulmonalen Reanimation	10
1.1.2.	Auflistung der Basic-Life-Support Maßnahmen mit Klassifizierungseinteilung, die Gegenstand dieser Untersuchung sind	13
1.2.	Ausgangslage	15
1.3.	Fragestellung	16
1.4.	Welches Problem sollte gelöst werden	17
1.5.	Hypothesen	18
2.	Material und Methode	18
2.1.	Übersicht	18
2.2.	Versuchsaufbau	19
2.2.1.	Geräte	19
2.2.2.	Probanden	21
2.3.	Versuchsdurchführung	22
2.4.	Datenerhebung	26
2.4.1.	Messdaten	26
2.5.	Statistik	32
3.	Ergebnisse	32
3.1.	Demografische Daten	32
3.2.	Befragung der Teilnehmer vor der ersten Basic-Life-Support Simulation	34
3.2.1.-6.	Fragen 1 – 6	34

3.3.	Selbsteinschätzungen, Ablösungswünsche der Teilnehmer	37
3.3.1.	Selbsteinschätzung des allgemein körperlichen Trainingszustands vor der ersten Basic-Life-Support Simulation	37
3.3.2.	Selbsteinschätzung des Basic-Life-Support Trainingszustands vor der ersten Basic-Life-Support Simulation	39
3.3.3.	Selbsteinschätzung der noch vorhandenen körperlichen Belastbarkeit nach Beendigung der achtminütigen Basic-Life-Support Simulation im normal, warm und kalt klimatisiertem Raum	40
3.3.4.	Geäußerte Ablösungswünsche während der achtminütigen Basic-Life-Support Simulation	42
3.4.	Blutlaktatkonzentration	44
3.5.	Minütliche Auswertung der Anzahl der Kompressionen pro Minute	46
3.6.	Minütliche Auswertung der Drucktiefe der durchgeführten Thoraxkompressionen	47
3.7.	Minütliche Auswertung der prozentualen Hands-off-time	49
3.8.	Minütliche Auswertung der prozentual korrekten Thoraxkompressionen	51
3.8.1.	Prozentuale Verteilung der korrekten Thoraxkompressionen pro Minute in Boxplots	53
3.9.	Zusammenfassung der Ergebnisse	55
4.	Diskussion	56
4.1.	Hintergrund	56
4.1.1.	Historie	59
4.1.2.	Geänderte Empfehlungen 2005 des European Resuscitation Council	64
4.2.	Physiologie	66
4.3.	Diskussion der Ergebnisse	72
4.3.1.	Methodenkritik	73
4.3.2.	Die Probanden	75

4.3.3.	Belastungen des Basic-Life-Support, Extrembedingungen	77
4.3.4.	Fragen an die Probanden vor den Basic-Life-Support Simulationen	79
4.3.4.1.	Fragen an die Probanden nach ihrer Reanimationserfahrung und Kenntnis der European-Resuscitation Empfehlungen 2005	79
4.3.4.2.	Fragen an die Probanden über die Häufigkeit an mitbeteiligten Reanimationen	80
4.3.4.3.	Frage nach regelmäßiger herz- oder kreislaufwirksamer Medikamenteneinnahme	81
4.3.5.	Selbsteinschätzung und Ablösungswünsche der Probanden	81
4.3.5.1.	Selbsteinschätzung des allgemeinen körperlichen Trainingszustands vor der Basic-Life-Support Simulation	81
4.3.5.2.	Selbsteinschätzung vor der ersten Basic-Life-Support Simulation einen Basic-Life-Support selbstständig durchzuführen	81
4.3.5.3.	Selbsteinschätzung der noch vorhandenen körperlichen Belastbarkeit nach Beendigung der achtminütigen Basic-Life-Support Simulationen im normal, warm und kalt klimatisierten Raum	82
4.3.5.4.	Geäußerte Ablösungswünsche während der achtminütigen Basic-Life-Support Simulation	83
4.3.6.	Laktat und physiologische Belastbarkeit	84
4.3.7.	Messergebnisse der Thoraxkompressionen	87
4.3.7.1.	Hands-off-time	87
4.3.7.2.	Qualität der Thoraxkompressionen und selbst empfundene körperliche Belastbarkeit	89
4.3.7.2.1.	Boxplots	92
4.3.8.	Ergebnisse der Studie	93
5.	Zusammenfassung	94
5.1.	Summary	96
6.	Literaturverzeichnis	98

7.	Anhang	105
	Abbildungsverzeichnis	105
	Tabellen	106
	Publikationen	108
	Danksagungen	109
	Verzeichnis der akademischen Lehrer	111
	Erklärung	112

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
AHA	American Heart Association
ALS	Advanced-Life-Support
BLS	Basic-Life-Support
cm	Zentimeter
CoSTR	International Consensus Conference on Emergency Cardiovascular Care and Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendation
CPP	Coronary Perfusion Pressure
CPR	Cardiopulmonale Reanimation
EBM	Evidence Based Medicine
ECC	Emergency Cardiac Care
ERC	European Resuscitation Council
Hb	Hämoglobin
HDM	Herzdruckmassage
HOT	Hands-off-time
HOR	Hands-off-ratio
ILCOR	International Liaison Committee on Resuscitation
MAD	Mittlerer arterieller Druck
MD	Median
MICR	Minimally Interrupted Cardiac Resuscitation
Min	Minute
MW	Mittelwert
NAS	National Academy of Sciences
NFT	No-flow-time
NFR	No-flow-ratio

NRC	National Research Council
PEEP	Positiv endexpiratory pressure
ROSC	Return of spontaneous circulation
SD	Standarddeviation
s	Sekunden
VRS	Verbale Ratingskala

1. Einleitung

1.1. Thema

Die Technik und Durchführung der Wiederbelebung wurde Ende der 1950' er, Anfang der 1960' er Jahre des vorigen Jahrhunderts entwickelt. Greene [31] wies 1957 den effektiven Gasaustausch durch die Ausatemluft des Helfers mittels Mund-zu-Mund Beatmung nach. 1960 wurde die äußere Herzdruckmassage von Kouwenhoven, Jude und Knickerbocker [43] beschrieben. Ein Jahr später veröffentlichte Safar [62] seine wissenschaftliche Untersuchung über eine Effektivitätssteigerung der Reanimation, wenn die äußere Herzdruckmassage zusammen mit der Mund-zu-Mund Beatmung zur Anwendung kommt. Damit wurden die bis heute gültigen Grundlagen der kardiopulmonalen Wiederbelebung beschrieben.

In Stavanger, Norwegen wurde 1961 erstmals auf dem Symposium für Notfallwiederbelebung die Kombination von künstlicher Beatmung und äußerer Herzdruckmassage empfohlen [58]. 1966 bildete sich in den USA eine Konferenz, das *Committee on Cardiopulmonary Resuscitation, of the Division of Medical Sciences, National Academy of Sciences (NAS), National Research Council (NRC)*, bestehend aus Mitgliedern nationaler medizinisch wissenschaftlicher Vereinigungen, mit dem Ziel, die Empfehlungen zur kardiopulmonalen Wiederbelebung entsprechend den aktuellen Erkenntnissen wissenschaftlich zu überprüfen. Die so entstandenen Empfehlungen wurden noch im selben Jahr erstmals im JAMA veröffentlicht [12].

Die folgende Konferenz, die *NAS-NRC National Conference on Standards for Cardiopulmonary Resuscitation (CPR) and Emergency Cardiac Care (ECC)*, überarbeitete 1974, 1980, 1986 und 1992, jeweils auf Grundlage aktueller Erkenntnisse, Richtlinien und Empfehlungen zur kardiopulmonalen Reanimation [69, 67, 68, 32].

Seit 1993 besteht das International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR) [71], ein weltweiter Verbund von nationalen und internationalen Institutionen und Fachverbänden, die sich mit der kardiopulmonalen Reanimation (CPR) auf wissenschaftlicher Grundlage beschäftigen. In diesem Forum werden die aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse kritisch überprüft und bewertet, um einen Konsens von Behandlungsempfehlungen vorzuschlagen.

Im Januar 2005 fand die International Consensus Conference on Emergency Cardiovascular Care and Cardiopulmonary Resuscitation Science with Treatment Recommendation (CoSTR) statt [51]. Die Ergebnisse der Behandlungsempfehlungen wurden 2005 publiziert [39]. Auf dieser Grundlage veröffentlichte die American Heart Association (AHA) und das European Resuscitation Council (ERC), Mitglieder des ILCOR, die Reanimationsleitlinien 2005 [25]. Eine Überarbeitung fand in diesem Jahr statt und wurde am 18. 10. 2010 zeitgleich von der AHA [28] und dem ERC [52] publiziert.

1.1.1. Klassifizierung der Empfehlungen für die kardiopulmonale Reanimation.

Im Jahr 1992 wurde in den USA auf der Konferenz für Reanimation und kardiologische Notfallversorgung, eine Bewertung der Maßnahmen der kardiopulmonalen Wiederbelebung nach Kriterien der Evidence Based Medicine (EBM) vorgenommen [18]. In sogenannten Levels of Evidence werden medizinische Studien entsprechend ihrer methodischen Qualität in acht Kategorien eingeteilt (Tabelle 1) [37]. Nach dieser Qualitätseinteilung des wissenschaftlichen Nachweises richtet sich der Grad der Empfehlung, aufgelistet in Tabelle 2 [18].

Tab. 1 Level of Evidence [37]

Level 1	Randomisierte klinische Studien mit substanziellen Therapieeffekten oder Metaanalysen solcher Studien
Level 2	Randomisierte klinische Studien mit geringeren oder weniger signifikanten Therapiewirkungen
Level 3	Prospektive, kontrollierte, nicht-randomisierte Kohortenstudien
Level 4	Historische, nicht-randomisierte Kohorten- oder Fallkontrollstudien
Level 5	Fallserien – keine Kontrollgruppen
Level 6	Tier- oder mechanische Modellstudien
Level 7	Extrapolation von existierenden Daten, die für andere Fragestellungen gesammelt wurden; theoretische Analysen
Level 8	Allgemeine Meinungen; Expertenmeinungen; allgemein akzeptierte Praxis vor den evidenzbasierten Leitlinien.

Tab. 2 Klassifikation der Empfehlungen [18]

Klasse I	Nutzen >>>Risiken, durch hervorragende Evidenz gestützt, empfehlenswert, Wirkung und Wirksamkeit sind bewiesen, Maßnahmen sind immer anwendbar, sicher und effektiv.
Klasse IIa	Nutzen >> Risiken, gutes bis sehr gutes Evidenzniveau, von Experten als Therapie der Wahl angesehen, Maßnahmen sind akzeptabel, sicher und sinnvoll.
Klasse IIb	Nutzen \geq Risiken mäßiges bis gutes Evidenzniveau, Therapiealternative mit tendenziell positiver Wirksamkeit, Maßnahmen sind akzeptabel, sicher und sinnvoll.
Klasse III	Risiken \geq Nutzen Evidenz und Wirksamkeit fehlen vollständig, Studien legen die Schädlichkeit der Maßnahmen nahe oder beweisen sie. Maßnahmen sind nicht akzeptabel, nicht wirksam, möglicherweise schädlich.
Indeterminate Klasse	Klasse ist unbestimmbar, vorläufiges Stadium während laufender Forschungsarbeiten, Evidenz zeigt die Unschädlichkeit der Maßnahme, zurzeit keinen Beweis für die Nützlichkeit, keine Empfehlung der Maßnahme, weder dafür noch dagegen.

1.1.2 Auflistung der Basic-Life-Support Maßnahmen mit Klassifizierungseinteilung, die Gegenstand dieser Untersuchung sind [38]:

- Effektive Thoraxkompressionen sind essenziell zur Generierung eines Blutflusses während einer CPR: Klasse I.

Die Kompressionen sollen kräftig und schnell mit einer Rate von 100 pro Minute durchgeführt und der Thorax bei jeder Kompression 4 – 5 cm eingedrückt werden. Nach jeder Kompression ist dem Thorax eine vollständige Relaxation zu ermöglichen. Die Kompressions- und Relaxationszeit soll gleich lang sein, wobei Unterbrechungen der Thoraxkompressionen während einer CPR auf ein Minimum begrenzt sein sollen.

Technik der einzelnen Maßnahmen:

- Platzieren der Hände zur externen Herzdruckmassage.

Der Handballen einer Hand soll auf die untere Hälfte des Sternums, zwischen den Mamillen positioniert und die zweite Hand auf die Erste überlappend aufgesetzt werden: Klasse IIa.

- Die Kompression soll das Sternum 4 -5 cm eindrücken. Anschließend nach jeder Kompression ist der Thorax vollständig zu entlasten: Klasse IIb

- Die Kompressions- und die Entlastungsphase/ Relaxation des Thorax soll annähernd gleich lang sein: Klasse IIb

- Die AHA empfiehlt eine Kompressionsrate von 100 pro Minute: Klasse IIa

- Unterbrechungen der externen HDM während einer CPR wegen diagnostischen oder therapeutischen Maßnahmen sollen auf ein Minimum reduziert sein, um die No-flow-time zu minimieren: Klasse IIa

- Laien Helfer sollen die Thoraxkompressionen zur Kontrolle von Vitalzeichen nicht unterbrechen. Es wird empfohlen, die kontinuierliche externe HDM ohne

Beatmung durchzuführen, bis der Patient Lebenszeichen äußert oder professionelle Helfer die CPR übernehmen: Klasse IIa

- Professionelle Helfer sollen die Thoraxkompressionen nur bei notwendigen Interventionen wie Intubation, venöse Kanülierung oder zur Defibrillation und nicht länger als 10 Sekunden unterbrechen: Klasse IIa

Wenn zwei Helfer anwesend sind, wird ein Wechsel desjenigen, der die Thoraxkompressionen ausführt, alle zwei Minuten empfohlen. Eine Klassifizierung für diese Aussage existiert nicht, jedoch der Hinweis auf Untersuchungen, die eine Abnahme der Kompressionstiefe und -rate im CPR-Verlauf als Ermüdungszeichen der Helfer beschreiben [1, 2, 4, 35, 41, 53, 77].

Die einzig bewertete Aussage bezüglich eines Wechsels lautet:

- Ein Wechsel der Helfer im Zweierteam soll unter 5 Sekunden erfolgen: Klasse IIb

Die Empfehlungen des ERC 2005 und 2010 unterstreichen nicht nur während des Basic-Life-Support (BLS), sondern über die gesamte Reanimationsdauer die Durchführung von effektiven Thoraxkompressionen und Beatmungshüben, die in einem Kompressions-Beatmungsverhältnis von 30:2 durchzuführen sind. Während der CPR ist besonders die Durchführung der Thoraxkompressionen physisch anstrengend. In vorangegangenen Untersuchungen [1, 4, 53, 77] wurde mit zunehmender Dauer der CPR eine Abnahme der Thoraxkompressionsqualität aufgezeigt. Aus diesem Grund wird in den Leitlinien ein Wechsel der Helfer nach zwei Minuten empfohlen.

Die geänderten Reanimationsleitlinien [25, 28] betonen jedoch andererseits, dass Unterbrechungen der Thoraxkompressionen tunlichst zu vermeiden

sind, um die Durchblutungsunterbrechung von Hirn- und Koronararterien möglichst gering zu halten.

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Effektivität der Thoraxkompressionen überprüft, während der Durchführung eines BLS nach Empfehlungen des ERC 2005 unter drei verschiedenen klimatischen Bedingungen. Die Untersuchung fand in drei unterschiedlich klimatisierten Räumen statt, bei normaler Raumtemperatur, in warmer sowie in kalter Umgebung, um einen optimalen Wechselzeitpunkt zu identifizieren. Die Probanden waren reanimationserfahrene Klinikangehörige, die nach mündlicher Einweisung an dem Simulatormodell ResusciAnne® der Firma Laerdal eine achtminütige externe Herzdruckmassage durchführten. Mittels des Laerdal PC Skillreporting System wurden in Echtzeit die Thoraxkompressionen qualitativ erfasst und minütlich ausgewertet.

1.2. Ausgangslage

Während eines Kreislaufstillstands entsteht im Organgewebe eine ischämische Hypoxie mit resultierenden Funktionsstörungen. Bei weiter anhaltender Anoxie kommt es zu irreversiblen Zellschäden und Zelluntergang.

Die CRP soll die Sauerstoffversorgung von Herz und Gehirn gewährleisten. Das Sauerstoffangebot im Gewebe ist abhängig von dem erreichten HZV, dem Perfusionsdruck und dem arteriellen Sauerstoffgehalt ($O_2\text{-Angebot} = Q \times c_aO_2$). Der arterielle Sauerstoffgehalt wird durch den Hb Gehalt des Blutes sowie die pulmonale Ventilation und Perfusion bestimmt. Die Gewebepерfusionsdrücke während der CPR sind abhängig von den Thoraxkompressionen und dem systemischen Gefäßwiderstand.

Der BLS soll entsprechend den ERC-Empfehlungen 2005 mit 30 Thoraxkompressionen im Wechsel mit zwei Beatmungen erfolgen. Die einzelne Thoraxkompression soll effektiv, mit adäquater Kraft und Tiefe von 3,8 bis 5,1 cm, entsprechend dem amerikanischen Längenmaß 1,5 – 2 inches, mit anschließender vollständiger Thoraxentlastung und einer Frequenz von 100 pro Minute durchgeführt werden.

Bei optimalen Reanimationsbedingungen und korrekter Durchführung der Thoraxkompressionen werden während einer CPR maximal 30 % des physiologischen Herzzeitvolumens und maximal 25 % der physiologischen Hirndurchblutung erreicht [64, 55]. In dieser Situation der grenzwertigen Aufrechterhaltung der Organperfusion sind effektiv durchgeführte Thoraxkompressionen von entscheidender Bedeutung. Unterbrechungen der externen Herzdruckmassage während des Reanimationsablaufs durch Auswechseln der Mitglieder des Reanimationsteams, durch diagnostische oder therapeutische Maßnahmen, sollen auf ein Minimum begrenzt werden, um die No-flow-time (NFT) zu minimieren und die Organperfusion, speziell die Perfusion der Koronararterien, während der CPR zu optimieren. Dadurch sollen Bedingungen für eine spontane Wiederherstellung der Kreislauffunktion ermöglicht werden [20, 25, 70].

1.3. Fragestellung

Aufgrund der Bedeutung einer qualitativ hochwertigen Durchführung von Thoraxkompressionen mit möglichst minimalen Unterbrechungszeiten während der CPR, ist die Frage nach einem optimalen Wechselzeitpunkt für denjenigen im Team, der die Thoraxkompressionen durchführt, von grundlegender Relevanz.

Ist der nach ERC-Richtlinien 2005 empfohlene Helferwechsel desjenigen, der die Thoraxkompressionen durchführt, nach zwei Minuten sinnvoll?

Nimmt die Qualität der Thoraxdruckmassage nach zwei Minuten ab, sodass der in den ERC-Richtlinien 2005 empfohlene Helferwechsel gerechtfertigt ist?

Wie ausgeprägt ist die subjektive Erschöpfung eines Probanden nach acht Minuten?

Haben unterschiedliche klimatische Bedingungen einen Einfluss auf die Effektivität der durchgeführten Thoraxkompressionen während einer CPR?

1.4. Welches Problem soll gelöst werden

In dieser Beobachtungsstudie soll die Effektivität der Thoraxkompressionen während eines BLS an dem Simulationsmodell ResusciAnne® der Firma Laerdal™ erfasst und bewertet werden.

Die vorliegende BLS-Simulationsstudie ist bisher die einzige Untersuchung zur Qualität der CPR in unterschiedlich klimatisierten Umgebungsbedingungen.

Es wird überprüft, ob sich eine Qualitätsabnahme der Thoraxkompressionen in Abhängigkeit von den klimatischen Umgebungsbedingungen zeigt und wie die Helfer subjektiv die körperliche Belastung während acht Minuten BLS einschätzen.

Besteht eine Korrelation zwischen der Selbsteinschätzung der Helfer über ihre körperliche Belastbarkeit und der gemessenen Qualität der Thoraxkompressionen in unterschiedlichen klimatischen Umgebungstemperaturen?

Welcher Zeitpunkt des Teamwechsels erweist sich in unterschiedlicher Umgebungstemperatur als optimal im Verlauf eines BLS über acht Minuten?

1.5. Hypothesen

1. Die Empfehlung des ERC 2005 während einer CPR nach zwei Minuten den Helfer, der die Thoraxkompressionen durchführt auszuwechseln, ist willkürlich und nicht evidenzbasiert gewählt.

Unterschiedliche Belastungssituationen während einer CPR erfordern angepasste Wechselzeiten für die Helfer.

2. Während einer CPR unter klimatischen Extrembelastungen zeigen sich beim Helfer früher Erschöpfungszustände und somit früher auftretende ineffektiv durchgeführte Thoraxkompressionen, als unter gemäßigten klimatischen Bedingungen.

2. Material und Methode

2.1. Übersicht

In vorhergehenden Studien über die Qualität der CPR und die Erschöpfung der Helfer sind Zeiträume von zwei [70], drei [4], fünf [53] bis 18 Minuten [45] untersucht worden. Der in dieser Studie gewählte Beobachtungszeitraum von acht Minuten entspricht einem zeitlich realistischen Reanimationsszenario der meisten außerklinisch auftretenden Herzkreislaufstillstände in Deutschland, bei denen initial die BLS-Maßnahmen ausgeführt werden, bis die CPR mit erweiterten Maßnahmen (ALS) von Rettungskräften fortgeführt werden.

Die an dem Modell durchgeführten Thoraxkompressionen werden mittels des Laerdal PC SkillReporting Systems erfasst und registriert. Dadurch ist die qualitative Beurteilung der Thoraxkompressionen, konkret die Drucktiefe,

-entlastung, -frequenz und Hands-off-time, nach den empfohlenen Vorgaben des ERC [25] über den gesamten Zeitraum der CPR möglich.

Von allen Probanden wurden vor Studienbeginn Antworten mittels verbaler Rating Skala (VRS) bezüglich ihrer Reanimationserfahrungen und ihrer Kenntnisse der ERC-Empfehlungen 2005 [25] erfasst. In gleicher Weise registrierten wir die subjektive Einschätzung des körperlichen Fitnesszustands und die Einschätzung ihrer Fähigkeit, einen BLS durchzuführen.

Während der Simulationen wurden die Ablösungswünsche der Probanden erfasst und dokumentiert.

Nach den Simulationen gaben die Probanden mittels VRS ihre Einschätzung über ihre noch vorhandene körperliche Belastbarkeit an.

2.2. Versuchsaufbau

2.2.1. Geräte

Für diese Studie wurde als Reanimationsmodell die Simulatorpuppe ResusciAnne[®] der Firma Laerdal[™] (Abb.1) mit dem Computerprogramm *Laerdal PC SkillReporting System* (Abb. 2) verwendet. Diese Simulationspuppe wird zum Erlernen und Trainieren der kardiopulmonalen Reanimation eingesetzt. Die Puppe besteht aus Kunststoff, mit komprimierbarem Thorax und nachgebildeten Luftwegen. Über ein Kabel wird die Simulationspuppe mit einem Laptop verbunden. Mit dem auf Windowsbasis funktionierenden Computerprogramm, *Laerdal PC SkillReporting System*, wurden in Echtzeit die durchgeführten Reanimationsmaßnahmen, die verabreichten Beatmungshübe und die Thoraxkompressionen angezeigt, registriert, dokumentiert und gespeichert. Es wurden die Anzahl der Kompressionen, die

Kompressionsfrequenz, zu tief oder zu flach ausgeführte und fehlerfreie Kompressionen erfasst, wie auch vollständige oder unvollständige Thoraxentlastungen und die Hands-off-time stellvertretend für die No-flow-time.

Die Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit wurden mit einem Thermometer und Hygrometer der Firma TFA gemessen.

Die Beatmungshübe wurden mit Maske und Ventilationsbeutel der Firma Ambu verabreicht.

Zur Durchführung der Untersuchungsreihen unter verschiedenen klimatischen Bedingungen wurden im St. Vincenz Krankenhaus in Limburg drei Räume entsprechend vorbereitet. Der normal klimatisierte Raum, mit 18 - 21°C und 51 - 58 % Luftfeuchtigkeit, ist ein Besprechungszimmer innerhalb des OP-Bereichs. Als Warmraum konnte in der Bäderabteilung ein Raum mit Heizung und Heißwasserdampf auf einen Temperaturbereich von 28 - 32°C mit 98 - 100 % Luftfeuchtigkeit vorbereitet werden. Ein Kühlraum zur Lagerung von Obst und Gemüse wurde für die Untersuchung geleert und mit den Geräten bestückt. Der Temperaturbereich lag zwischen 1 - 4°C, die Luftfeuchtigkeit bei 60 - 75 % .



Abb. 1: Modell ResusciAnne[®] , Quelle: Firma Laerdal[™]



Abb. 2: Laerdal PC SkillReporting System, Quelle: Firma Laerdal™

2.2.2. Probanden

Die Probanden dieser Studie sind im St. Vincenz Krankenhaus in Limburg beschäftigt. Sie sind Fachärzte und Weiterbildungsassistenten der Abteilungen für Anästhesie und operative Intensivmedizin, der Unfallchirurgie und der internistischen Abteilung sowie Anästhesie- und Intensivpflegekräfte ohne und mit abgeschlossener Fachweiterbildung. Zwei Probanden aus dem Pflegebereich mit administrativen Aufgaben sind keiner Abteilung zugeordnet. Die Studie vollendeten 41 Probanden. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig und unentgeltlich.

Von den 18 Ärzten sind 12 aktiv als Notarzt im Notarzteinsatzfahrzeug-Dienst eingesetzt. Zwei Fachärzte besitzen die Berechtigung, arbeiten aber nicht aktiv als Notarzt. Vier Assistenzärzte, jeweils zwei aus der internistischen und der anästhesiologischen Abteilung sind noch nicht berechtigt als Notarzt tätig zu werden, jedoch bei der innerklinischen Versorgung von akuten Herzkreislaufstillständen mitbeteiligt.

Drei Probanden aus der Pflegegruppe waren nach eigenen Angaben an einem eigenständig aktiv durchgeführten BLS zur Notfallbehandlung eines

Herz-Kreislaufstillstands noch nie beteiligt. Außer diesen drei Probanden hatten alle praktische Erfahrungen bei der Durchführung des BLS. Der theoretische und praktische Wissensstand bezüglich der CPR ist nicht einheitlich. Er ist bei dem überwiegenden Anteil der Probanden als professionell zu bezeichnen. Diejenigen mit der geringsten praktischen Erfahrung profitieren jedoch durch ihr berufliches Tätigkeitsfeld. Akute Herz-Kreislaufstillstände hat jeder der Probanden in seiner Berufstätigkeit mehrmals erlebt, sodass die Probanden im Umgang mit Wiederbelebensmaßnahmen nicht als Laienhelfer einzuordnen sind.

2.3. Versuchsdurchführung

An dem Simulationsmodell ResusciAnne® von Laerdal wurden in einer acht-minütigen Basisreanimation die Maßnahmen Ventilation und Thoraxkompression mithilfe des Laerdal PC SkillReporting Systems in Echtzeit registriert und dokumentiert. Vor Beginn des ersten BLS Durchlaufs in einem normal klimatisierten Raum wurden allen Probanden einmalig fünf Fragen bezüglich ihrer Reanimationserfahrung und Kenntnis der CPR-Maßnahmen nach den ERC-Leitlinien 2005 gestellt. Ergänzend wurden die Probanden gefragt, ob regelmäßig herzkreislaufwirksame Medikamente eingenommen werden. Anschließend wurde die Selbsteinschätzung der Fitness, des allgemeinen körperlichen Trainingszustands der Probanden, sowie die Selbsteinschätzung des BLS-Trainingszustands erfragt. Die Einschätzung wurde mittels einer verbalen, intervallskalierten Ratingskala mit Skalierung 1 – 10 erfasst. Die Skalenenden wurden mit eindeutigen Aussagen belegt.

Zu Beginn der jeweiligen Simulation wurde auf die diagnostischen Maßnahmen zum Erkennen von Vitalzeichen eines Herz-Kreislaufstillstands oder die Überprüfung des Bewusstseins durch Ansprache und Schütteln,

abweichend von den ERC-Empfehlungen [25], verzichtet. Um die Belastungen der Thoraxkompressionen und den zeitlichen Ablauf mit den Beatmungshüben möglichst realistisch zu gestalten, führten wir die Simulation der Basisreanimation immer im Zweierteam durch. Die Anleitung zur Durchführung der Thoraxkompressionen entspricht den Empfehlungen des ERC 2005.

Diese Vorgaben wurden den Probanden vom Versuchsleiter vor jedem Messzyklus mündlich als Anleitung mitgeteilt.

Die Anleitung zur Versuchsdurchführung im Wortlaut:

„Das Verhältnis von Thoraxkompressionen zu Ventilationen soll 30 : 2 sein. Die Thoraxkompressionen sind mit einer Frequenz von 100 pro Minute und einer Drucktiefe von 4 - 5 cm durchzuführen. Nach jeder Kompression soll eine vollständige Entlastung erfolgen. Die Kompression und die Entlastung sollen zeitlich gleich lang sein. Der korrekte Druckpunkt am Modell liegt über dem Sternum, zwischen den Mamillen. Der Wechsel zwischen Kompression und Beatmung soll prompt und ohne zeitliche Verzögerung erfolgen. Um dieses zu gewährleisten, werden die letzten fünf Thoraxkompressionen von 30 laut mitgezählt, sodass nach der 30. Kompression ohne Verzögerung mit den zwei Beatmungshüben durch den zweiten Teamkollegen begonnen werden kann. Nach dem zweiten Beatmungshub folgt unverzüglich der nächste Kompressionszyklus. Falls Sie während des Versuchs den Eindruck haben, die Thoraxkompressionen wegen körperlicher Erschöpfung ineffektiv durchzuführen, teilen Sie mit, dass Sie ausgewechselt werden wollen, führen die Thoraxkompressionen jedoch weiter, bis der Versuchsleiter den Versuch beendet oder Sie selbst wegen körperlicher Erschöpfung die Simulation vorzeitig beenden müssen.“

Die Position der Helfer war festgelegt. Derjenige, der beatmete, kniete am Kopfende und derjenige, der die Thoraxkompressionen durchführte, kniete an der linken Körperseite des Modells. Die vollzogenen Beatmungen und Thoraxkompressionen am Modell wurden mit dem daran konnektierten Laptop in Echtzeit registriert, dokumentiert und dargestellt. Die Darstellung war für die Probanden während des Versuchsablaufs nicht einsehbar.

Mit Beginn der ersten Thoraxkompression startete die Zeitmessung und Datenerfassung. Während der acht Minuten andauernden Basisreanimation fand kein Wechsel der Helfer statt. Der Wunsch nach einem Wechsel konnte jederzeit geäußert werden.

Die Probanden waren entsprechend den klimatischen Umgebungsbedingungen bekleidet. Im klimatisierten Warmraum mit Baumwollhose, Oberbekleidung bestehend aus Hemd oder Poloshirt. Im Kühlraum mit zusätzlicher Rettungsdienstjacke (Abb.3).

Jeder Proband durchlief die drei Klimastationen, jeweils acht Minuten als Helfer der beatmete, und acht Minuten um Thoraxkompressionen auszuführen. Zwischen den einzelnen Klimastationen lag mindestens eine 24-stündige Pause. Die Probanden wurden vor Beginn der ersten Station, dem normal klimatisierten Innenraum, in die Gruppen A und B randomisiert eingeteilt. Mit jeweils einem Probanden aus jeder Gruppe wurde ein Zweierteam gebildet. Wer im Team mit den Thoraxkompressionen begann, wurde randomisiert zugeordnet.

Nach acht Minuten wurde der Versuch beendet, die Dokumentation dem Probanden zugeordnet und gespeichert. Jeder Proband hat nach dem achtminütigen BLS eine Selbsteinschätzung seiner noch vorhandenen körperlichen Belastbarkeit mittels einer Ratingskala vorgenommen. Es folgte ein Rollentausch der Probanden. Derjenige, der beatmete, führte im anschließenden Versuchsablauf die Thoraxkompressionen durch. Der folgende Versuchsablauf begann mit der o. a. mündlichen Anleitung.

Die Thoraxkompressionen wurden analysiert und minütlich ausgewertet. Die Registrierung der Ventilationen blieb unberücksichtigt.

Von den 44 Probanden fielen während der Studie drei Probanden aufgrund von Rückenproblemen aus, so dass von 41 Probanden die Datensätze ausgewertet wurden.



Abb. 3: BLS-Simulation im Kühlraum

Um zusätzliche Hinweise auf das Ausmaß der physischen Belastung der Helfer, die die Thoraxkompressionen ausübten, zu erhalten, wurde bei 34 Probanden auf freiwilliger Basis aus der Cubitalvene Blut entnommen, um die Laktatkonzentration vor und nach dem dritten Versuchsablauf im Kühlraum zu bestimmen.

2.4. Datenerhebung

2.4.1. Messdaten

Vor jeder BLS-Simulation wurden sowohl Raumtemperatur als auch Feuchtigkeit mit dem Thermometer und Hygrometer der Firma TFA kontrolliert und dokumentiert.

Die Untersuchung wurde in drei verschiedenen Klimastationen durchgeführt:

1. normal klimatisierter Innenraum, 18 – 21°C mit 51 – 58 % Luftfeuchtigkeit,
2. Warmraum, 28 – 32°C mit 98 – 100 % Luftfeuchtigkeit und
3. Kühlraum, 1 – 4°C mit 60 – 75 % Luftfeuchtigkeit.

Die Registrierung der Daten jeder BLS-Simulation erfolgte durch das Laerdal PC SkillReporting System. Dokumentiert wurden die Daten anhand des Protokollausdrucks für jede BLS-Simulation.

Zur weiteren Aufarbeitung und Auswertung kamen die Programme Microsoft Excel und GraphPad InStat. zur Anwendung.

In dieser Untersuchung wurde von jeder BLS-Simulation ausgewertet:

- die minütliche Anzahl der Kompressionen pro Minute,
- die minütliche mittlere Drucktiefe der durchgeführten Thoraxkompressionen,
- die minütliche Hands-of-time in Sekunden und prozentual,
- die minütliche Auswertung der prozentual fehlerfrei durchgeführten Thoraxkompressionen, d.h. korrekte Drucktiefe, korrekte Druckentlastung und korrekte Handplatzierung.

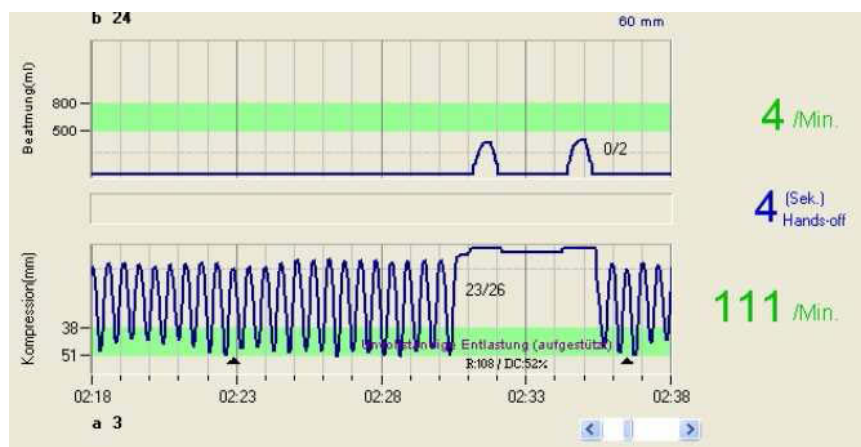


Abb. 4, Beispiel der grafischen Darstellung einer BLS-Simulation mittels PC Skillreporting System

Anzeige der numerischen Leistungsdaten

Trainingsmodell 1	
Trainingsmodell 1	Beatm./Kompr.: Teilnehmer1 AED: Teilnehmer2
Leistungsdaten	
Beatmungsdaten	
Durchschnittliches Volumen (ml)	781
Durchschnittliches Minutenvolumen (ml)	4857
Korrektes Volumen	40
Zu geringes Volumen	10
Zu hohes Volumen	1
Beatmungsdauer zu kurz	30
Durchschnitt Beatmungsfrequenz (ml/sek.)	554
Durchschnittliche Anzahl pro Minute	6
Gesamtanzahl	51
Fehlerfrei	10
Ätemwege verlegt	0
Kompressions-Daten	
Durchschnittliche Frequenz (pro Min.)	102
Durchschnittliche Anzahl pro Minute	44
Durchschnittlicher "Duty Cycle" (%)	44
Gesamtanzahl	345
Fehlerfrei	327
Durchschnittliche Drucktiefe (mm)	42
Korrekte Drucktiefe	327
Zu flach gedrückt	18
Zu tief gedrückt	0
Handposition zu weit unten	0
Handposition zu weit oben	0
Handposition zu weit rechts	0
Handposition zu weit links	0
Falsche Handposition	0
Unvollständige Entlastung	0
Durchschn. Kompressionsverhältnis Druck/Entlastung	0.92 (48%/52%)
Verhältnis	2 : 15
Übersicht der Zeit ohne Aktionen (Min.:Sek.)	
Gesamtzeit ohne Aktionen	00:00
Durchschnittliche Zeit ohne Aktionen	00:00
Defibrillations - Daten (Min.:Sek.)	
Zeit vom Trainingsstart bis zum 1. Schock	05:47
Zeit vom pulslosen Rhythmus bis zum 1. Schock	05:47
Zeit vom Notruf bis zum 1. Schock	03:21
Zeit vom Eintreffen des Defibrillators bis zum 1. Schock	03:12

Abb. 5, Beispiel der numerischen Datenerfassung einer BLS-Simulation durch das Laerdal PC SkillReporting System

Tabellarische Datenerfassung,
BLS-Simulationen registriert im Kühlraum:

1° 4°C, 60-75% Luftfeuchtigkeit	0-1 Min	1-2 Min	2-3 Min	3-4 Min	4-5 Min	5-6 Min	6-7 Min	7-8 Min
Proband a 1	100	102	94	100	101	98	102	106
a 2	96	87	87	88	87	85	84	83
a 3	96	89	87	90	82	82	83	85
a 4	94	90	89	88	85	92	88	87
a 5	92	93	92	92	90	93	91	93
a 6	98	97	96	94	95	91	91	95
a 7	86	84	80	81	84	88	86	84
a 8	89	90	90	91	90	96	94	96
a 9	95	98	99	101	97	102	98	97
a 10	99	91	94	97	92	94	91	90
a 11	95	90	90	90	91	94	97	98
a 12	92	89	90	87	80	81	83	84
a 13	102	96	93	92	93	94	91	98
a 14	109	111	101	104	105	103	113	110
a 15	113	91	92	94	94	94	97	95
a 16	96	98	99	91	91	89	84	86
a 17	92	88	90	90	90	86	86	86
a 18	88	83	85	87	91	91	90	85
a 19	87	74	75	88	83	82	83	83
a 20	80	71	79	74	83	79	79	84
a 21	93	86	90	90	84	86	85	90
a 22	89	85	81	80	82	87	80	79
b 21	86	80	77	85	77	79	85	81
b 22	103	95	99	97	94	97	98	96
b 23	90	90	82	83	83	82	90	83
b 24	99	91	95	100	97	94	94	98
b 25	112	106	111	106	107	105	104	107
b 26	96	90	92	92	90	95	93	91
b 27	90	89	89	90	90	90	90	90
b 28	94	95	90	92	90	89	89	87
b 29	101	90	94	90	90	90	87	90
b 30	91	88	91	88	90	90	88	89
b 31	98	97	87	94	91	94	95	101
b 32	89	90	91	90	86	87	85	77
b 33	90	90	90	84	92	96	93	92
b 34								
b 35	109	96	93	93	93	91	91	95
b 36								
b 37	99	90	97	94	90	90	90	90
b 38	89	90	90	87	88	86	85	89
b 39	89	87	84	83	81	85	83	83
b 40	88	72	81	67	70	76	70	65
b 41								
b 42	82	77	81	82	75	82	76	80

gezählte Thoraxkompressionen pro Minute

Tabelle 3, minütliche Auflistung der Kompressionen im Kühlraum

1° 4°C, 60-75% Luftfeuchtigkeit	0-1 Min	1-2 Min	2-3 Min	3-4 Min	4-5 Min	5-6 Min	6-7 Min	7-8 Min
Proband a 1	40	39,8	40,6	39,8	38,8	38,5	35,2	35,2
a 2	53,6	49,4	49,9	49	48,5	48,4	47,3	47,6
a 3	46,4	48,2	47,8	46,8	49,6	51,7	50,9	49,2
a 4	45,4	47,3	46,5	43,4	43,8	42,5	41,1	38,6
a 5	41,8	42,9	44,9	46,3	44,6	44,6	45,5	46,6
a 6	48	48	48	48,7	47,2	46,6	46,7	46,7
a 7	36,6	35	39,6	42,8	41,4	37	39	39,9
a 8	55,6	52,9	47,8	45,2	43,7	42,8	43,2	41
a 9	37,7	38,8	40	39,9	40,8	41,9	39	39,7
a 10	44,8	39,2	41	42,3	43,5	36,6	42,8	39,7
a 11	52,6	51,8	49	41,4	38,7	36,7	38,1	38,7
a 12	52,9	55,3	53,8	52	51,4	53,7	51,8	54,7
a 13	45,5	43,1	41,9	43,3	42	41	41,3	42,3
a 14	48,6	46,8	43,3	39,4	39,6	33,6	33,7	32,3
a 15	47,8	41,9	40,3	40,1	42,4	41	42,1	43,5
a 16	60	60	60	60	60	59,4	60	60
a 17	31,4	31,6	33,4	36,6	38,3	38,8	41,2	39,5
a 18	42,2	38,4	33,6	29,7	36,8	37,9	35,9	35,6
a 19	57,9	58,2	55,4	50,6	48,8	50,3	52	52,6
a 20	51,1	52,2	52,9	53,4	52,4	51,3	50,3	46,7
a 21	51,8	50,5	47,1	47,3	48	48,2	51,7	50,2
a 22	31,7	28,8	32	31,7	33,2	34	34,4	33,1
b 21	49,2	49,4	49,3	51	49,5	49,5	50,5	49,7
b 22	52,6	50	49,5	52,2	50,5	52,3	53	53,5
b 23	47,1	48,3	48,3	48,4	43,8	43,6	42,1	41,4
b 24	58,1	58,5	53,6	51,4	49,2	48,2	47,4	43,8
b 25	51,8	47,4	45,7	43,4	43,3	43,8	44	44,4
b 26	41,3	36,9	37,6	38,9	37,6	36,1	33,8	33,9
b 27	47,1	45,6	44	46,1	45,9	47,2	48,1	49,8
b 28	30	36,6	40,7	41,4	42,2	42,4	40,8	40,3
b 29	60	59,9	59,2	56,5	56,2	58,2	57,2	55,8
b 30	48,9	43,5	44	43,7	42	42,5	40,6	41,7
b 31	49,5	44,8	42	44,3	43,1	42,8	40,9	38,4
b 32	50,1	51,1	52,5	52,5	52	52,4	51,5	50,2
b 33	52,9	46,5	44,1	49,2	46,5	42,7	42	42,8
b 34								
b 35	53	48	45,2	45,7	44,6	44,3	43,1	43,4
b 36								
b 37	49	46,7	45,5	44,4	42,9	42,3	43,3	43,7
b 38	42,8	42,9	42,7	42,1	40,5	40,7	40,4	42,5
b 39	45	41,3	40,5	41	41,8	41,9	42,5	42,1
b 40	56	50,8	51,1	46,7	45,7	44,1	49,2	46,1
b 41								
b 42	43,7	45,3	42,7	41,1	38,9	37	35,2	35

durchschnittliche Kompressionstiefe in mm

Tabelle 4, minütliche Auflistung der durchschnittliche Kompressionstiefe im Kühlraum

1° 4°C, 60-75% Luftfeuchtigkeit	0-1 Min	1-2 Min	2-3 Min	3-4 Min	4-5 Min	5-6 Min	6-7 Min	7-8 Min
Proband a 1	11,9	11,7	15,6	12	11,8	12,8	13,5	11,6
a 2	9,4	9,9	8,9	8,3	6,6	8,8	9,2	9,4
a 3	9,9	9,5	10,1	7,6	12,2	12,2	12,6	10,4
a 4	10,4	11,1	12,7	12,5	12,7	8,1	13,1	12,7
a 5	12,4	11,2	11,2	11,6	12,3	11,4	12,5	11,8
a 6	11,8	12,1	12,6	12,3	11,1	13,2	13,8	12,2
a 7	8,8	10,7	12,1	12	11,3	10	10,2	11,7
a 8	8,2	8,4	8,6	9,2	9,9	9,8	10,5	10,2
a 9	12,1	11,8	10,8	10,8	13,4	10,8	13,5	14,2
a 10	10,8	13,4	12,5	10,8	14,5	13,1	14,9	15,8
a 11	10,2	11,6	12,4	12,2	11,2	11,3	11,3	11,9
a 12	13,2	11,1	8,9	10,8	13,7	13,2	9	10,1
a 13	11,6	12,8	13,2	14,2	13,2	13,2	14,8	11,7
a 14	10,6	12,2	16,9	16,3	16,3	18,4	14,4	14,9
a 15	4,8	11,1	10,9	7,2	9	8,2	7,5	8,5
a 16	9,1	9,2	9,4	10,7	10,6	12,2	13,3	10,6
a 17	11,9	8,2	10,2	11,6	10,5	12,1	11,7	12
a 18	9,6	15,2	13,6	16	15	15,8	14,5	14,8
a 19	8,4	14,4	14,4	9,4	13,3	15,1	14,5	15,2
a 20	9,5	13,6	9,2	12,9	8,7	12,8	13,2	12,5
a 21	9,7	12,5	8,4	9,7	12	13,3	13,7	10,9
a 22	10,4	11,6	12,9	13,1	11,8	8,3	12,4	13,2
b 21	8,9	13,5	15	10,5	15,9	14,9	11,3	13,7
b 22	10	12,1	10,3	11,9	13,2	11,2	10,9	12,3
b 23	10,4	8,1	12,6	12,9	14,5	12	9,1	13,7
b 24	10,1	9,5	10,6	9,3	10,9	11,2	11,1	8,4
b 25	10,1	12,4	10,2	8,7	11,6	12,6	10,7	7,9
b 26	10,9	12,6	12,3	12,1	11,7	11	12,6	13,1
b 27	9,5	9,4	9,8	9,1	9,5	9,8	10,5	10,4
b 28	10	10	9,9	7,1	9,1	9,3	10,3	11,1
b 29	12,1	12,7	12,2	12,6	12,2	12,9	15,9	14
b 30	12,1	13,7	10,6	12,8	11,4	12	14,1	13,2
b 31	13	12,6	17,4	13,8	15,6	14,8	15,7	13,9
b 32	10,5	8,8	9,1	9,7	12,1	10,7	12,4	12,1
b 33	11,2	10	8,9	14,8	11,4	9,9	10,6	11,5
b 34								
b 35	8,5	9,7	11	9,6	9,6	10,6	10	9,5
b 36								
b 37	9,1	10,5	8,6	11	10,8	12	11	13,5
b 38	13,1	15,5	16,3	18,3	18,7	19	19,1	17,7
b 39	11	11,8	13,4	13,4	12,7	10	12,3	13,8
b 40	8,1	13,6	9,8	15,1	13,9	13,7	13,6	12,4
b 41								
b 42	10,5	14,3	11	10,7	15,5	11,3	14,8	13,1

HOT pro Minute in Sekunden

Tabelle 5, minütliche Auflistung Hands-off-time in Sekunden im Kühlraum

2.5. Statistik

Nach Prüfung der Rohdaten auf Normalverteilung erfolgte die Darstellung der Ergebnisse als Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) oder Median (MD) sowie 25 und 75 % Quartilen. Die Rundung von Zahlen erfolgte mathematisch, wobei die Anzahl der Nachkommastellen nach logischen Aspekten gewählt wurde. Die statistische Prüfung der Daten erfolgte mittels univariater Varianzanalyse (ANOVA) mit α -Korrektur nach Bonferroni oder dem Friedman-Test mit α -Korrektur nach Dunn. Das Signifikanzniveau galt bei einer Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Ordnung von weniger als 5 % als erreicht ($P < 0,05$).

Alle mathematischen und statistischen Berechnungen erfolgten auf einem IBM-kompatiblen Computersystem (Microsoft® Windows XP, Microsoft GmbH, Unterschleißheim) mit den Softwareprogrammen Microsoft® Excel (Microsoft GmbH, Unterschleißheim) sowie GraphPad InStat Version 3.06 (GraphPad Software, Inc., San Diego, CA, USA).

3. Ergebnisse

3.1. Demografische Daten

Aus der Abteilung für Anästhesie und operativen Intensivmedizin kommen 33 Probanden. Davon sind 14 Ärzte, 13 sind Anästhesiepflegekräfte und neun Probanden Pflegekräfte der operativen Intensivstation. Aus der Klinik für internistische Medizin nahmen drei Ärzte, eine Fachärztin und zwei Assistenzärzte in Weiterbildung, aus der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie nahm ein Facharzt teil.

Zwei Probanden sind aus dem Pflegebereich mit administrativen Aufgaben keiner Abteilung zugeordnet. Zwei Probanden sind Fachpfleger mit Lehrbeauftragung für die Ausbildung zur Anästhesie- und Intensivpflege. Im Studieverlauf mussten von 44 Probanden, drei Probanden wegen LWS-Beschwerden vorzeitig ausscheiden. Der Anteil der weiblichen Probanden betrug 49%, der männliche 51%. Der Altersdurchschnitt lag bei 39, der Median bei 38 Jahren. Der jüngste Proband war 26, der Älteste 56 Jahre. Die Studie vollendeten 41 Probanden (Tab. 6).

	Gruppe A	Gruppe B	Σ	%
Probanden	n = 22	n = 19	n = 41	100
Abteilungen				
Anästhesie	17	16	33	81
Innere	2	1	3	7
Unfallchirurgie	1	0	1	2
Pflege administr./ Lehre	2	2	4	10
Geschlecht				
weiblich	11	9	20	49
männlich	11	10	21	51
Ärzte	11	7	18	44
Pflegekräfte	11	12	23	56

Tabelle 6, Verteilung der 41 Probanden nach Geschlecht, Berufsgruppe und medizinischer Fachabteilung.

3.2. Befragung der Probanden vor der ersten achtminütigen BLS-Simulation - Fragen und Ergebnisse

3.2.1 Frage 1. Sind Ihnen die Maßnahmen der CPR nach den internationalen ERC-Leitlinien 2005 bekannt?

Die Maßnahmen der CPR nach den Empfehlungen des ERC 2005 waren 34 Probanden (83 %) bekannt. Sieben Probanden (17 %), ein Assistenzarzt und sechs Pflegekräften waren die vorherigen Empfehlungen des ERC aus dem Jahr 2000 mit dem Kompressions–Ventilations-Verhältnis von 15 : 2 bekannt.

3.2.2 Frage 2. Wann führten Sie zuletzt eine CPR / BLS durch?

Bei 38 Probanden (93 %) ergab sich eine Streuung der Ereignisse in dem Zeitraum von vor 3 Tagen bis einmal vor 25 Jahren, im errechneten Mittelwert vor 984 Tagen, im Median vor 35 Tagen.

3.2.3 Frage 3. Wie oft waren Sie mindestens an einer CPR mitbeteiligt?

Die Mindestangaben über die Häufigkeit einer aktiven CPR-Teilnahme umfasst die Spannweite von einmal 600 bis einmal zwei mitbeteiligte CPRs. Durchschnittlich waren die 38 Probanden mindestens 55-mal beteiligt. Der Median ergab eine 30-malige Beteiligung an einer CPR. Drei Probanden (7 %) waren noch nie aktiv an einer CPR mitbeteiligt (Abb. 6).

**Anteil der Probanden eingeteilt in Gruppen
nach Häufigkeit der bisher durchgeführten
CPRs**

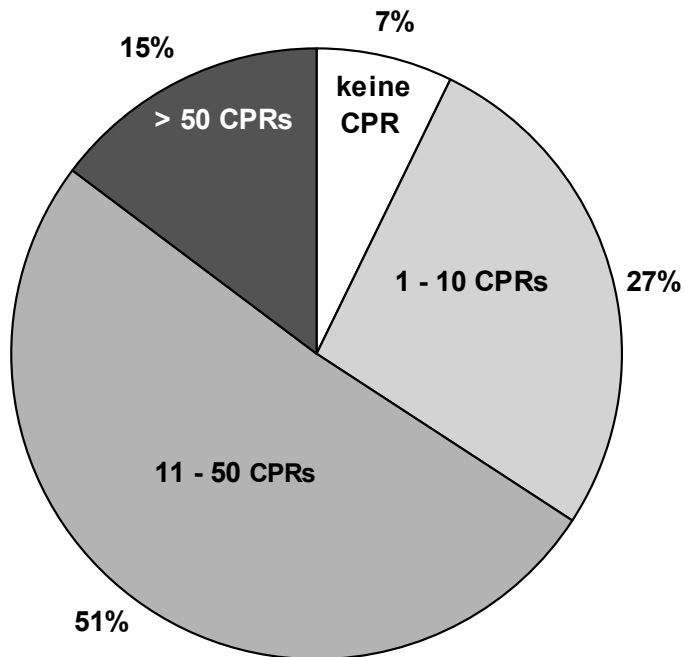


Abb. 6, Diagramm zur Frage 3, Gruppierung der Probanden nach Häufigkeit von jemals durchgeführten CPRs

3.2.4 Frage 4. Wie oft führten Sie in den vergangenen 12 Monaten eine CPR durch?

In den letzten 12 Monaten waren 26 Probanden (63 %) an einer Reanimation beteiligt. Die durchschnittliche Anzahl der durchgeführten CPRs ergab sieben, der Median bei diesen 26 Probanden ergab fünf. Einmal wurde von einem Proband eine 20-malige CPR-Teilnahme in den letzten 12 Monaten angegeben. Nicht an einer CPR mitbeteiligt waren im vergangenen Jahr 15 Probanden (37 %) (Abb.7).

**Anteil der Probanden in Gruppen nach
unterschiedlicher Häufigkeit der
durchgeführten CPRs in den
letzten 12 Monaten**

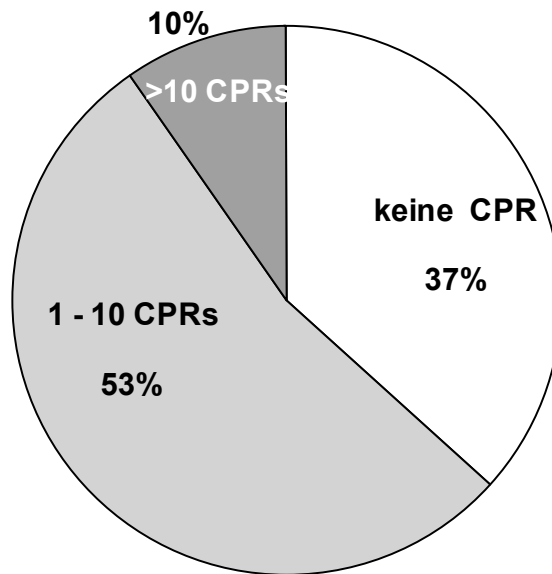


Abb. 7, Diagramm zur Frage 4: Gruppierung der Probanden nach CPR-Häufigkeit im vergangenen Jahr

3.2.5 Frage 5: Nehmen Sie regelmäßig an einem CPR-Training / Megacode-training teil?

Das regelmäßige Megacodetraining bejahten 24 Probanden (59 %).

3.2.6 Frage 6: Nehmen Sie regelmäßig herz- oder kreislaufwirksame Medikamente?

Außer zwei Probanden, die täglich β -Adrenorezeptorenblocker einnahmen, bestand bei den Übrigen keine regelmäßige Medikamenteneinnahme.

3.3. Selbsteinschätzungen, Ablösungswünsche der Probanden

3.3.1. Selbsteinschätzung des allgemeinen körperlichen Trainingszustands vor der ersten BLS-Simulation

Die Einschätzung erfolgt mittels einer VRS, intervallskaliert mit Skalierung 1 - 10. Die Enden sind mit folgenden Textaussagen belegt:

1 mit der Aussage : Ich bin in schlechtem körperlichen Trainingszustand, habe keine Fitness.

10 mit der Aussage : Ich bin in einem sehr guten körperlichen Trainingszustand, fühle mich topfit.

Die Einschätzung ergab den Mittelwert 6,1, der berechnete Median 6. Sechsmal wurde als niedrigster Wert 4, einmal als höchster Wert 9 angegeben.

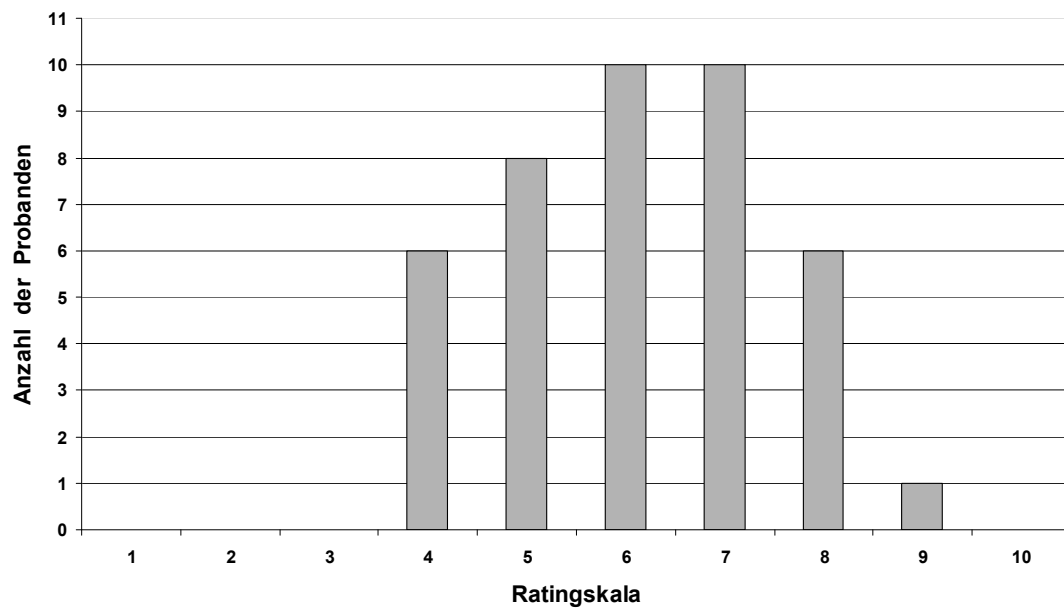


Abb. 8, Diagramm Häufigkeitsverteilung der Probanden nach selbst eingeschätztem Ratingskala-Wert des allgemeinen körperlichen Trainingszustands vor dem Versuch

3.3.2. Selbsteinschätzung des BLS-Trainingszustands vor der ersten BLS-Simulation

Die Einschätzung erfolgt mittels einer VRS, intervallskaliert mit Skalierung 1 - 10. Die Skalenenden sind mit folgenden Textaussagen belegt:

1 mit der Aussage : Ich habe überhaupt keine Ahnung wie eine Reanimation durchgeführt wird. Was soll ich tun?

10 mit der Aussage: Ich bin in der Lage eine Reanimation, einen BLS nach den Empfehlungen des ERC 2005 selbstständig durchführen.

Die Selbsteinschätzung ergab den Mittelwert 6,3, der berechnete Median 6, der häufigste genannte Wert 5. Einmal wurde als niedrigster Wert 1, einmal der höchste Wert 10 angegeben.

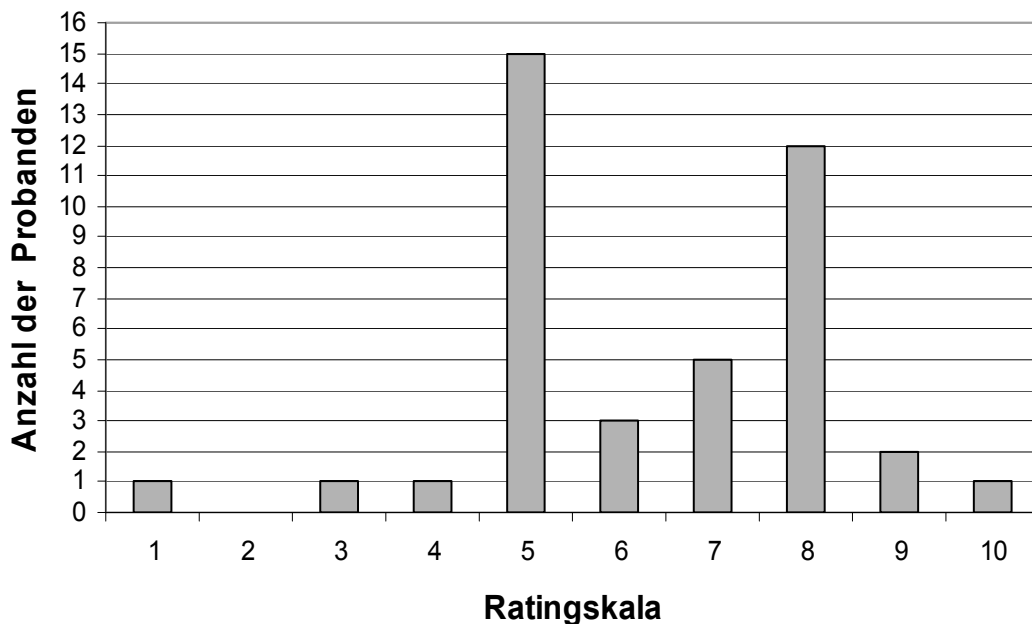


Abb. 9, Diagramm Häufigkeitsverteilung der Probanden nach selbst eingeschätztem Ratingskala-Wert des BLS-Trainingszustands vor dem Versuch.

3.3.3. Selbsteinschätzung der noch vorhandenen körperlichen Belastbarkeit nach Beendigung der achtminütigen BLS-Simulation im normal, warm und kalt klimatisiertem Raum

Nach Beendigung des achtminütigen BLS bestimmte derjenige, der die Thoraxkompressionen durchführte, seine noch vorhandene körperliche Belastbarkeit, mittels einer VRS, intervallskaliert mit Skalierung von 1 – 10.

Die Skalenenden sind mit folgenden Textaussagen belegt:

1 mit der Aussage: Ich fühle mich total erschöpft, bin froh, das der Versuch beendet ist. Ich könnte die Thoraxkompressionen nicht weiter fortführen.

10 mit der Aussage: Ich fühle mich gut, bin nicht erschöpft, voll belastbar und kann unvermindert die Thoraxkompressionen fortführen.

Der Median ergab in allen drei Klimabereichen den Wert 7. Der Mittelwert im normal klimatisierten Raum ergab 6,4, im warm klimatisierten 6,7, im kalt klimatisierten 7,3. Ein Proband brach die BLS-Simulation in normal klimatisierter Umgebung in der 6. Minute ab. (Tab. 7, Abb. 10).

	Mittelwert	Median	SD	min	max	
norm °C	6,4	7	1,9	(1x) 1	(1x) 10	1 x Abbruch in der 6. Min
warm °C	6,7	7	2,0	(1x) 1	(3x) 10	
kalt °C	7,3	7	1,8	(2x) 2	(3x) 10	

Tabelle 7: Selbsteinschätzung der körperlichen Belastbarkeit nach achtminütigem BLS, Auflistung von Mittelwert, Median, SD = Standardabweichung und minimal-, maximal Wert

norm °C = normal klimatisiert : 18 – 21 °C, 51 – 58 % Luftfeuchtigkeit
warm °C = warm klimatisiert : 28 – 32 °C, 98 -100 % Luftfeuchtigkeit
kalt °C = kalt klimatisiert : 1 – 4 °C, 60 – 75 % Luftfeuchtigkeit

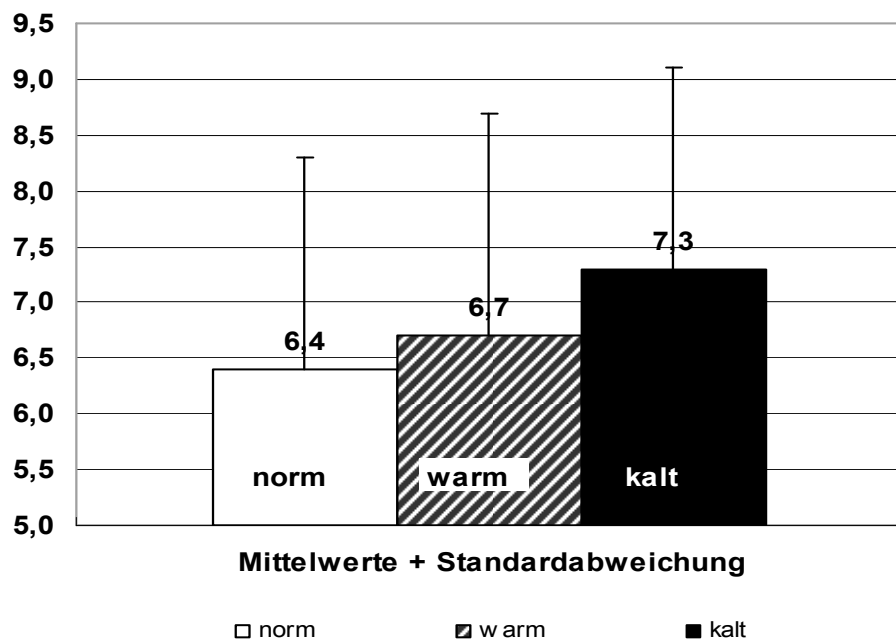


Abb. 10, Diagramm Selbsteinschätzung der körperlichen Belastbarkeit nach achtminütiger BLS-Simulation, VRS-Wert, MW und SD

norm	= normal klimatisiert	: 18 – 21 °C,	51 – 58 %	Luftfeuchtigkeit
warm	= warm klimatisiert	: 28 – 32 °C,	98 -100 %	Luftfeuchtigkeit
kalt	= kalt klimatisiert	: 1 – 4 °C,	60 – 75 %	Luftfeuchtigkeit

3.3.4. Geäußerte Ablösungswünsche während der achtminütigen BLS-Simulation

In den drei Klimastationen wurde von den 41 Probanden im normal klimatisierten Raum von 10 (24 %), im warm klimatisierten Raum von fünf (12%) und im gekühlten Raum von vier (10%) Probanden vor Ablauf der acht Minuten eine Ablösung gewünscht (Abb. 11, 12).

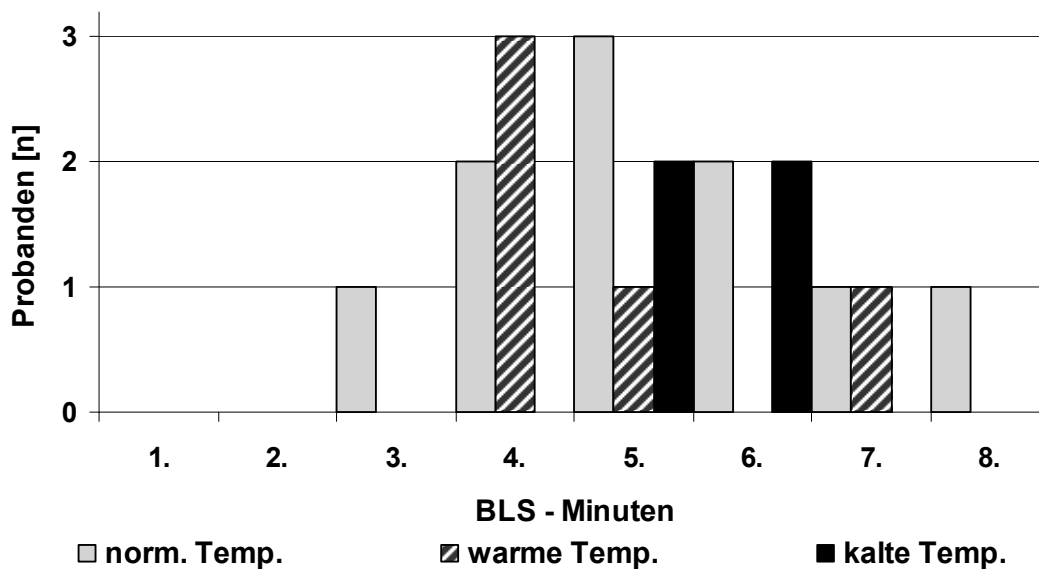


Abb. 11, Diagramm Häufigkeitsverteilung der Probanden mit geäußertem Ablösungswunsch während des BLS den ablaufenden Minuten zugeordnet;
 norm. Temp. = normal klimatisiert : 18 – 21 °C, 51 – 58 Luftfeuchtigkeit
 warme Temp. = warm klimatisiert : 28 – 32 °C, 98 -1 00 Luftfeuchtigkeit
 kalte Temp. = kalt klimatisiert : 1 – 4 °C, 60 – 75 Luftfeuchtigkeit

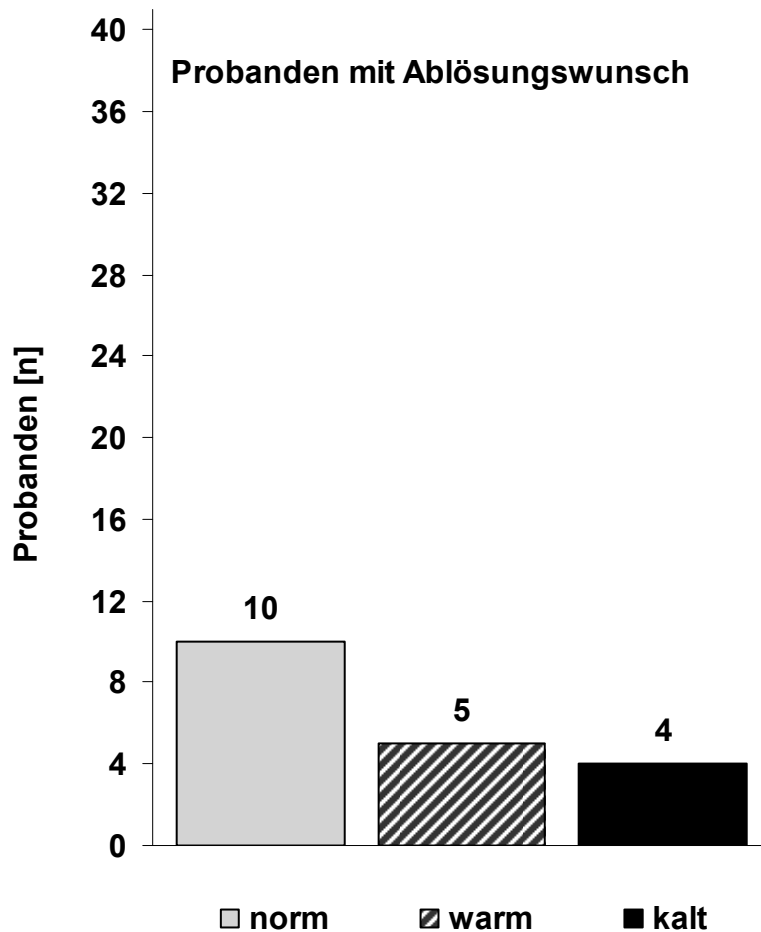


Abb. 12, Diagramm Anzahl der Probanden mit geäußertem Ablösungswunsch während der achtminütigen BLS-Simulation im normal-, warm- und kalt klimatisiertem Raum.

norm	= normal klimatisiert	: 18 – 21 °C,	51 – 58 %	Luftfeuchtigkeit
warm	= warm klimatisiert	: 28 – 32 °C,	98 -100 %	Luftfeuchtigkeit
kalt	= kalt klimatisiert	: 1 – 4 °C,	60 – 75 %	Luftfeuchtigkeit

3.4. Die Blutlaktatkonzentration vor und nach dem dritten Versuchsablauf im Kühlraum bei 34 Probanden

Der Mittelwert der gemessenen Blutlaktatkonzentrationen stieg von 1,08 mmol/L vor der Simulation auf 3,02 mmol/L nach der Simulation an. Die Werte nach acht Minuten durchgeführter Thoraxkompressionen streuten bei den Probanden in einem Bereich von minimal 1,2 bis maximal 5,7 mmol/L. (Abb. 13, 14)

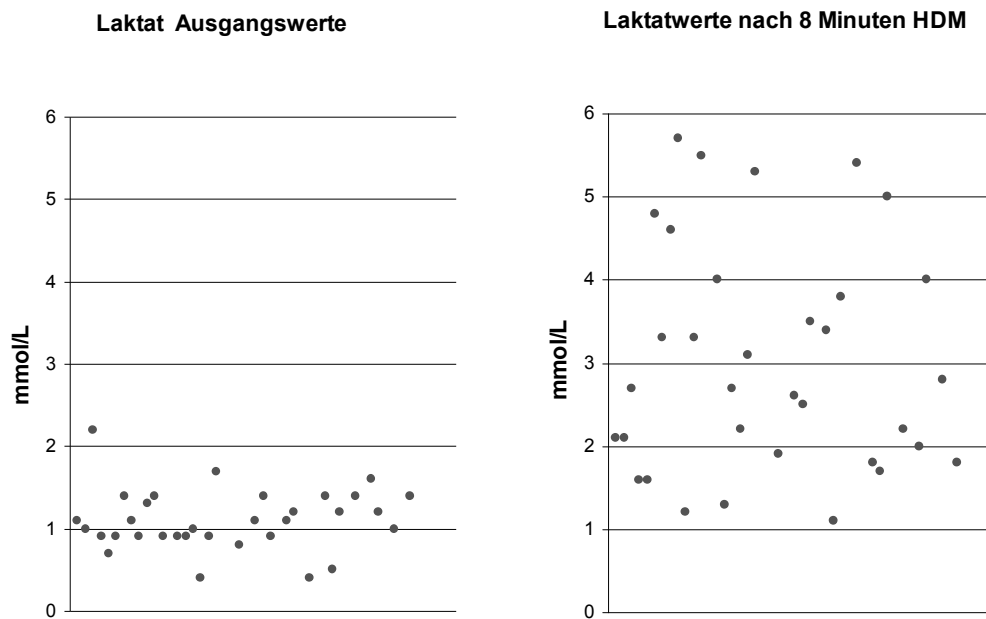


Abb. 13, Diagramme Laktatwerte der 34 Probanden vor und nach der HDM-Simulation in der Kältekammer

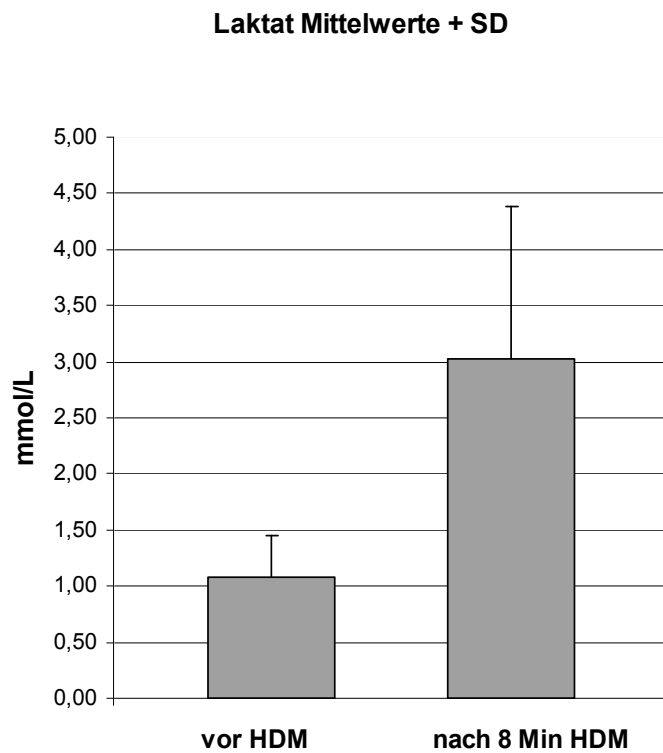


Abb. 14, Diagramm vor und nach der HDM-Simulation im Kühlraum
Laktat Mittelwerte (SD), vorher: 1,08 mmol/L (0,37); nachher: 3,02 mmol/L (1,37)

3.5. Minütliche Auswertung der Anzahl der Kompressionen pro Minute

Im Innergruppenvergleich kam es bei der minütlichen Auswertung ab der zweiten Minute im Vergleich zur ersten, zu einer signifikanten ($p < 0,05$) Abnahme der Anzahl der Kompressionen in allen drei Klimagruppen. Der Vergleich der Normal- mit der Kaltgruppe zeigt eine signifikante Abnahme der Anzahl der Thoraxkompressionen in der Kaltgruppe in der 1., 2., 5., 6. und 7. Minute (Abb. 15, Tab.8).

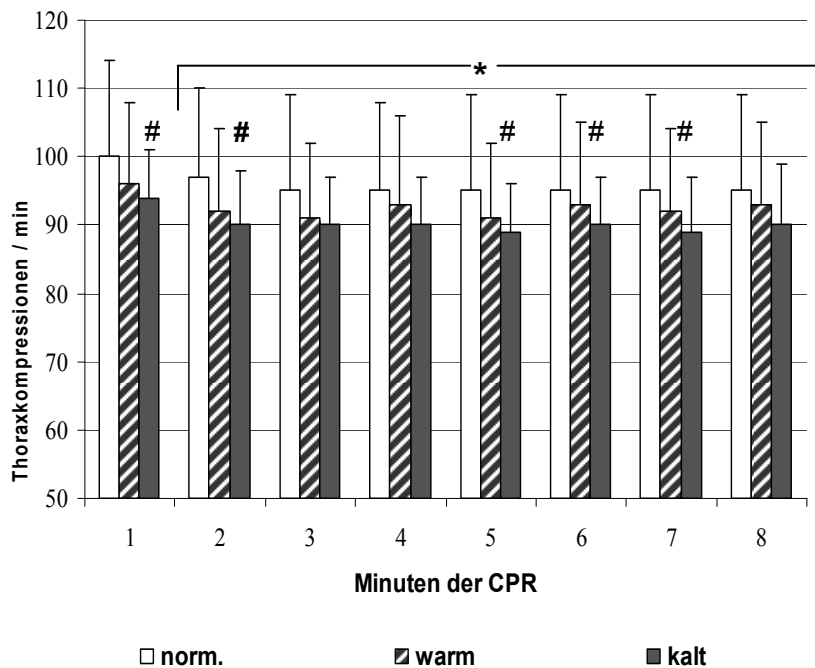


Abb. 15, Diagramm Anzahl der Thoraxkompressionen pro Minute,

* $p < 0,05$ im Innergruppenvergleich versus 1. Minute,

$p < 0,05$ im Intergruppenvergleich norm. versus kalt,

norm. = normal klimatisiert : 18 – 21 °C, 51 – 58 % Luftfeuchtigkeit

warm = warm klimatisiert : 28 – 32 °C, 98 -100 % Luftfeuchtigkeit

kalt = kalt klimatisiert : 1 – 4 °C, 60 – 75 % Luftfeuchtigkeit

Anzahl Kompressionen, (SD)			
	norm.	warm	kalt
1. Min.	100 (14) #	96 (12)	94 (7)
2. Min.	97 (13)* #	92 (12)*	90 (8)*
3. Min.	95 (14)*	91 (11) *	90 (7)*
4. Min.	95 (13)*	93 (13) *	90 (7)*
5. Min.	95 (14)* #	91 (11) *	89 (7)*
6. Min.	95 (14)* #	93 (12) *	90 (7)*
7. Min.	95 (14)* #	92 (12) *	89 (8)*
8. Min.	95 (14)*	93 (12) *	90 (9)*

Tab. 8, Anzahl der Thoraxkompressionen. pro Minute,

* $p < 0,05$ im Innergruppenvergleich versus 1. Minute,

$p < 0,05$ im Intergruppenvergleich norm. versus kalt,

norm. = normal klimatisiert : 18 – 21 °C, 51 – 58 % Luftfeuchtigkeit

warm = warm klimatisiert : 28 – 32 °C, 98 -100 % Luftfeuchtigkeit

kalt = kalt klimatisiert : 1 – 4 °C, 60 – 75 % Luftfeuchtigkeit

3.6. Minütliche Auswertung der Thoraxkompressionsdrucktiefe

Innerhalb aller drei Klimagruppen bestand ab der dritten Minute im Vergleich mit der ersten Minute eine signifikante Abnahme der Drucktiefe.

Im Vergleich der normal temperierten mit der Kaltgruppe war die Abnahme der Drucktiefe in der 1., 2., 3., 4. und 7. Minute signifikant.

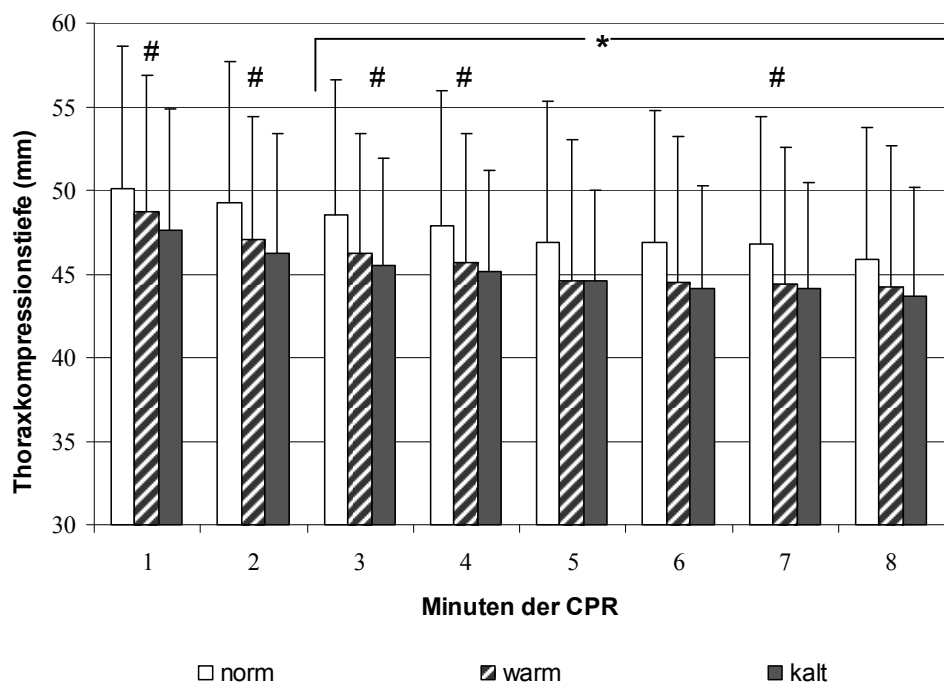


Abb. 16, Diagramm Thoraxkompressionstiefe pro Minute

Kompressionstiefe (SD) [mm]			
	Norm	warm	kalt
1. Min.	50,1 (8,5) #	48,7 (8,2)	47,6 (7,3)
2. Min.	49,3 (8,4) #	47,1 (7,3)	46,2 (7,2)
3. Min.	48,5 (8,1) * #	46,2 (7,2) *	45,5 (6,4) *
4. Min.	47,9 (8,1) * #	45,7 (7,7) *	45,1 (6,1) *
5. Min.	46,9 (8,4) *	44,6 (8,4) *	44,6 (5,4) *
6. Min.	46,9 (7,9) *	44,5 (8,7) *	44,1 (6,2) *
7. Min.	46,8 (7,6) * #	44,4 (8,2) *	44,1 (6,4) *
8. Min.	45,9 (7,9) *	44,2 (8,5) *	43,7 (6,5) *

Tab. 9

Abb. 16, Diagramm und Tab.9, Thoraxkompressionstiefe pro Minute,

* $p < 0,05$ im Innergruppenvergleich versus 1. Minute,

$p < 0,05$ im Intergruppenvergleich norm. versus kalt,

norm. = normal klimatisiert : 18 – 21 °C, 51 – 58 % Luftfeuchtigkeit

warm = warm klimatisiert : 28 – 32 °C, 98 -100 % Luftfeuchtigkeit

kalt = kalt klimatisiert : 1 – 4 °C, 60 – 75 % Luftfeuchtigkeit

3.7. Minütliche Auswertung der prozentualen Hands-off-time

Im Innergruppenvergleich bestand in allen drei Klimagruppen im achtminütigen BLS-Ablauf ab der zweiten Minute im Vergleich mit der ersten Minute eine signifikante Zunahme der prozentualen Hands-off-time; normal-: von 18 auf 22 %, warm-: von 16 auf 18 %, kalt klimatisiert von 16 auf 19 %. Zwischen den Klimagruppen ergab sich kein signifikanter Unterschied (Abb.17, Tab. 10)

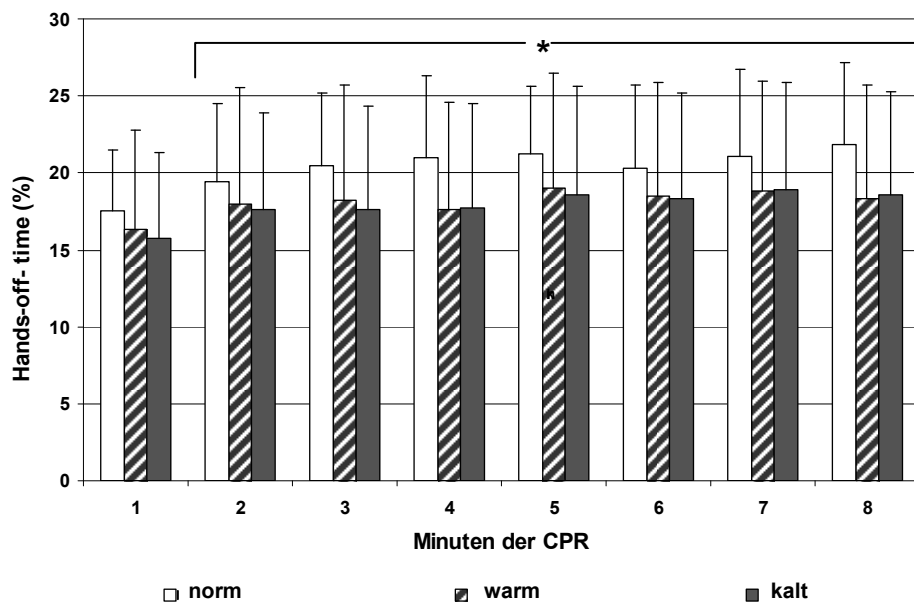


Abb. 17, Diagramm mittlere prozentuale Hands-off-time pro Minute,

* $p < 0,05$ im Innergruppenvergleich versus 1. Minute,

norm. = normal klimatisiert : 18 – 21 °C, 51 – 58 % Luftfeuchtigkeit
 warm = warm klimatisiert : 28 – 32 °C, 98 – 100 % Luftfeuchtigkeit
 kalt = kalt klimatisiert : 1 – 4 °C, 60 – 75 % Luftfeuchtigkeit

Hands-off-time in % pro Minute (SD)			
	norm.	warm	kalt
1. Min.	17,5 (4)	16,3 (6,5)	15,7 (5,6)
2. Min.	19,4 (5,1) *	18 (7,5) *	17,6 (6,3) *
3. Min.	20,5 (4,7) *	18,2 (7,5) *	17,6 (6,7) *
4. Min.	21 (5,3) *	17,6 (7)	17,7 (6,8) *
5. Min.	21,2 (4,4) *	19 (7,5) *	18,6 (7) *
6. Min.	20,3 (5,4) *	18,5 (7,4) *	18,3 (6,9) *
7. Min.	21,1 (5,6) *	18,8 (7,2) *	18,9 (7) *
8 .Min.	21,8 (5,4) *	18,3 (7,4) *	18,6 (6,7) *

Tab. 10, mittlere prozentuale Hands-off-time pro Minute,

* $p < 0,05$ im Innergruppenvergleich versus 1. Minute,

norm. = normal klimatisiert : 18 – 21 °C, 51 – 58 % Luftfeuchtigkeit

warm = warm klimatisiert : 28 – 32 °C, 98 -100 % Luftfeuchtigkeit

kalt = kalt klimatisiert : 1 – 4 °C, 60 – 75 % Luftfeuchtigkeit

3.8. Minütliche Auswertung der prozentual korrekt durchgeführten Thoraxkompressionen

Fehlerfreie Thoraxkompressionen wurden definiert mit einer Drucktiefe von 3,8 - 5,1 cm, vollständige Thoraxentlastung und korrekter Handposition.

In allen drei Klimagruppen war in der minütlichen Auswertung in der acht-Minuten-BLS-Simulation innerhalb der einzelnen Gruppen kein signifikanter Unterschied bezüglich der Menge an fehlerfreien Thoraxkompressionen nachweisbar. Jedoch zeigte sich im Vergleich der normal mit der kalt klimatisierten Gruppe in der 1., 2. und 5. Minute und im Vergleich der warm mit der kalt klimatisierten Gruppe in der 3. und 5. Minute eine signifikante Zunahme der Anzahl an korrekt durchgeführten Thoraxkompressionen jeweils in der kalt klimatisierten Gruppe, (Tabelle 11, Abb. 18).

fehlerfrei %			
	norm	warm	kalt
1. Min.	18,8 (0-98,0) +	17,2	38,9
2. Min.	9,9 (0-100) +	29,3	55,6
3. Min.	19,3 (0-100)	28,0 +	61,3
4. Min.	25,5 (0-100)	13	57,8
5. Min.	27,9 (0-100) +	28,6 +	78,7
6. Min.	25,6 (0-100)	30,6	60,6
7. Min.	22,5 (0-100)	25,9 (0-99,0)	68,1
8. Min.	34,3 (0-99,0)	28,4	67,5

Tabelle 11, prozentual fehlerfreie Kompressionen pro Minute, fehlerfrei: korrekte Drucktiefe, korrekte Entlastung und korrekte Handplatzierung.

+ p<0.05 versus kalt,

norm. = normal klimatisiert : 18 – 21 °C, 51 – 58 % Luftfeuchtigkeit

warm = warm klimatisiert : 28 – 32 °C, 98 -100 % Luftfeuchtigkeit

kalt = kalt klimatisiert : 1 – 4 °C, 60 – 75 % Luftfeuchtigkeit

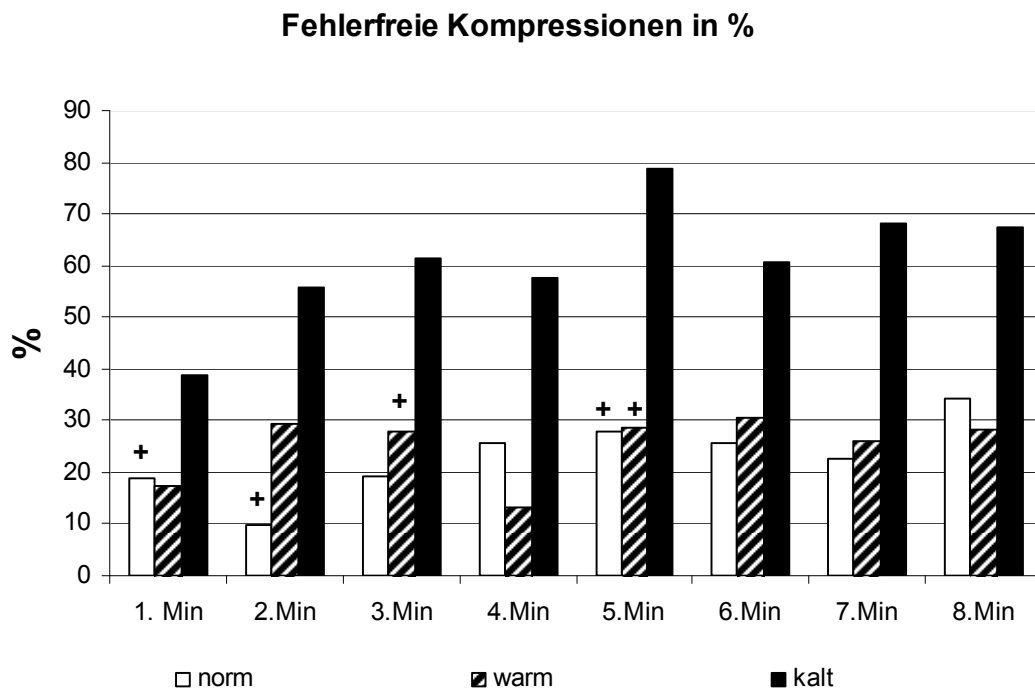


Abb.18, Diagramm prozentual fehlerfreie Kompressionen pro Minute, fehlerfrei: korrekte Drucktiefe, korrekte Entlastung und korrekte Handplatzierung.
 + $p < 0.05$ im Intergruppenvergleich versus kalt,
 norm. = normal klimatisiert : 18 – 21 °C, 51 – 58 % Luftfeuchtigkeit
 warm = warm klimatisiert : 28 – 32 °C, 98 -100 % Luftfeuchtigkeit
 kalt = kalt klimatisiert : 1 – 4 °C, 60 – 75 % Luftfeuchtigkeit

3.8.1. Prozentuale Verteilung der korrekten Thoraxkompressionen pro Minute in Boxplots Diagrammen

Im normal klimatisierten Raum (Abb. 19) war eine Häufung der korrekten Thoraxkompressionen in den ersten zwei Minuten um 20 %, in der vierten Minute mit einem Anstieg um 60 % und ab der fünften bis zur achten Minute zwischen 50 - 60 % verteilt. In jeder Minute wurden Ausreißer oberhalb 95 % berechnet, sowie in der 6. und 7. Minute jeweils ein Ausreißer unterhalb 5 % . Im Warmraum (Abb. 20) zeigte sich über den gesamten achtminütigen BLS-Verlauf eine asymmetrische Verteilung der korrekten Thoraxkompressionen mit einer Häufung unter 20 % bis um 30 % und einer vermehrten Anzahl von Ausreißern über 95 % .

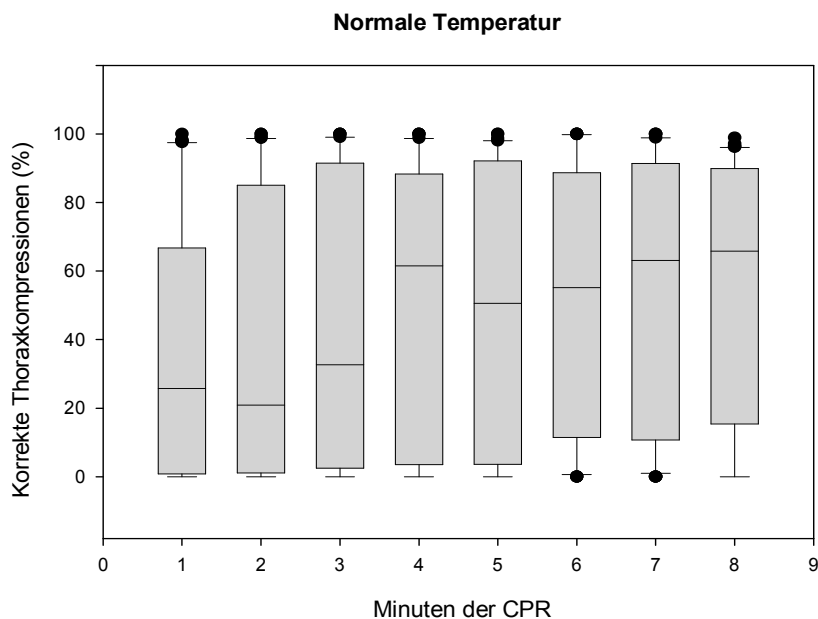


Abb. 19, Diagramm Boxplots der korrekten Thoraxkompressionen in Prozent für jede Minute des achtminütigen BLS im normal klimatisierten Raum, Temp.: 18 – 21°C, Luftfeuchtigkeit: 51% - 58 %, Median: Querstrich = $Q_{50\%}$, Interquartilabstand: $Q_{25\%} - Q_{75\%}$, Spannweite: 5 % – 95 % , ● Outliers: Werte < 5 % und > 95 %

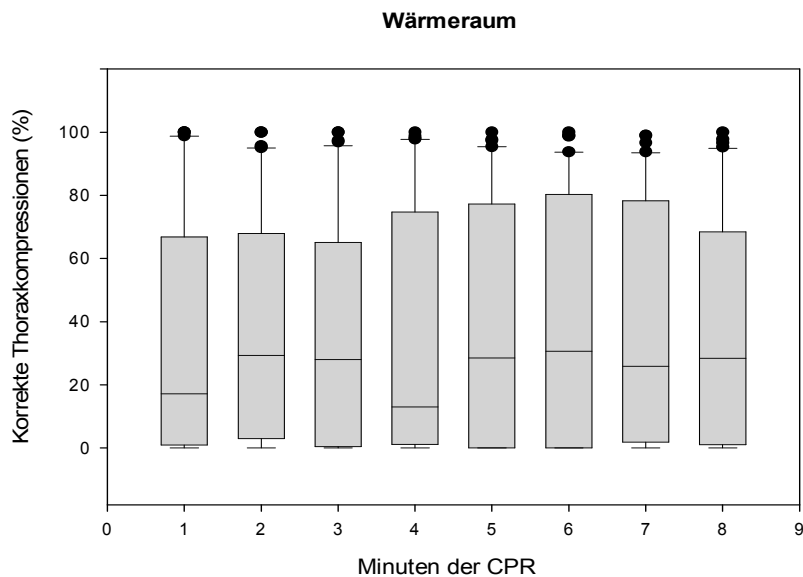


Abb. 20, Diagramm Boxplots der korrekten Thoraxkompressionen in Prozent für jede Minute des achtminütigen BLS im warm klimatisierten Raum, Temp.: 28 – 32 °C, Luftfeuchtigkeit: 98 % - 100 %, Median: Querstrich = $Q_{50\%}$, Interquartilabstand: $Q_{25\%} - Q_{75\%}$, Spannweite: 5 % – 95 %, ● Outliers: Werte < 5 % und > 95 %

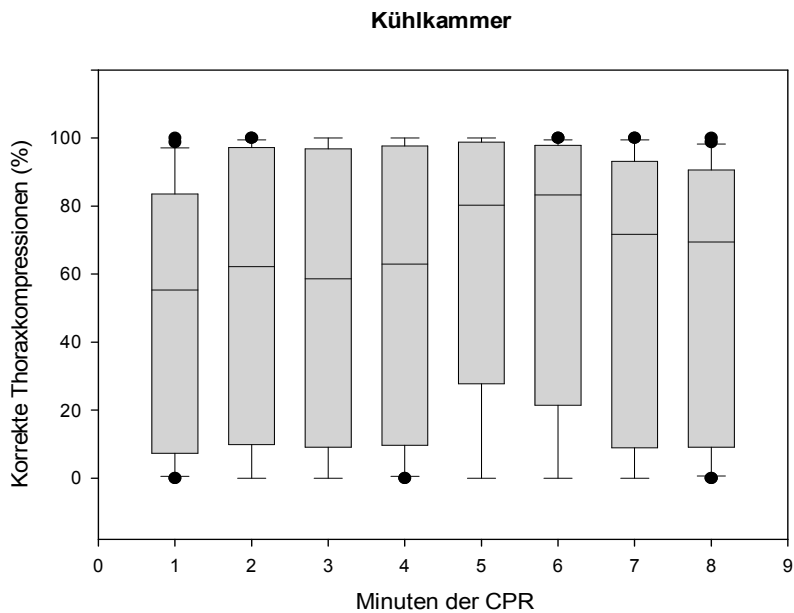


Abb. 21, Diagramm Boxplots der korrekten Thoraxkompressionen in Prozent für jede Minute des achtminütigen BLS im kalt klimatisierten Raum, Temp.: 1 – 4 °C, Luftfeuchtigkeit: 60 % - 75 %, Median: Querstrich = $Q_{50\%}$, Interquartilabstand: $Q_{25\%} - Q_{75\%}$, Spannweite: 5 % – 95 %, ● Outliers: Werte < 5 % und > 95 %

In der Kühlkammer (Abb. 21) zeigt die Diagrammdarstellung eine asymmetrische Häufigkeitsverteilung von korrekten Thoraxkompressionen um 60 % mit einem Maximum in der 5. und 6. Minute um 80 %. Es stellen sich insgesamt weniger Ausreißerwerte oberhalb 95 % dar.

3.9. Zusammenfassung der Ergebnisse

In der vorliegenden Studie wurde die Durchführung der externen Herzdruckmassage während eines BLS am Modell unter drei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen untersucht. Während der achtminütigen BLS-Simulation im Zweierteam, ohne Wechsel der Probanden von Beatmung und Thoraxkompressionen, zeigte sich in allen drei Klimagruppen eine signifikante Abnahme der Drucktiefe nach der zweiten Minute und der Thoraxkompressionsfrequenz nach der ersten Minute. In fünf von acht Minuten wurden in der Kaltgruppe, im Vergleich mit der normal klimatisierten Gruppe, die Thoraxkompressionen signifikant flacher ausgeführt und weniger Kompressionen pro Minute gezählt. Die prozentual gemessene Hands-off-time nahm unter allen drei klimatischen Bedingungen nach der ersten Minute signifikant zu. Zwischen den drei Simulationen fand sich kein signifikanter Unterschied.

Bei der minütlichen Auswertung der fehlerfrei durchgeführten Thoraxkompressionen war innerhalb einer Klimagruppe kein signifikanter Unterschied festzustellen.

Im Vergleich der normal und warm klimatisierten Gruppe, jeweils mit der kalt klimatisierten Gruppe, war eine signifikante Erhöhung der Anzahl von korrekt durchgeführten Thoraxkompressionen in der Kaltgruppe nachweisbar.

Die Analyse der Häufigkeitsverteilung zeigte im Warmraum eine Abnahme sowie im Kaltraum eine Zunahme von korrekt durchgeführten Thoraxkompressionen.

Es ist eine Diskrepanz bei der Selbsteinschätzung der Probanden über ihre selbst empfundene Belastungsfähigkeit und der Anzahl ihrer Ablösungswünsche mit den gemessenen Ergebnissen ihrer Thoraxkompressionen festzustellen.

Der gemessene Anstieg des Laktatspiegels nach der Simulation im Kaltraum entspricht einer als mittelschwer zu bezeichnenden körperlichen Arbeit.

Insgesamt waren die applizierten Thoraxkompressionen während der achtminütigen Simulation, unter allen drei klimatischen Bedingungen, innerhalb der vom ERC 2005 geforderten Grenzen.

4. Diskussion

4.1. Hintergrund

Der plötzliche Herztod ist die häufigste Todesursache in den westlichen Industrienationen. Schätzungsweise erleiden jährlich ca. 375 000 Patienten in Europa den plötzlichen Herztod. In den USA schätzt das Center of Disease Control jährlich 450 000 akute Herzkreislaufstillstände, wobei die Überlebensrate mit 5 % angegeben wird [29]. Kreislaufbedingte Todesfälle werden in der Todesstatistik 2001–2003 der Europäischen Union mit einer Häufigkeit von 41 % angegeben. Sie sind die häufigste Todesursache bei europäischen

Männern und Frauen über 65 Jahren, Abb. 22 [49]. Die koronare Herz-
erkrankung ist Ursache von 37 % aller kreislaufbedingten Todesfälle [29].

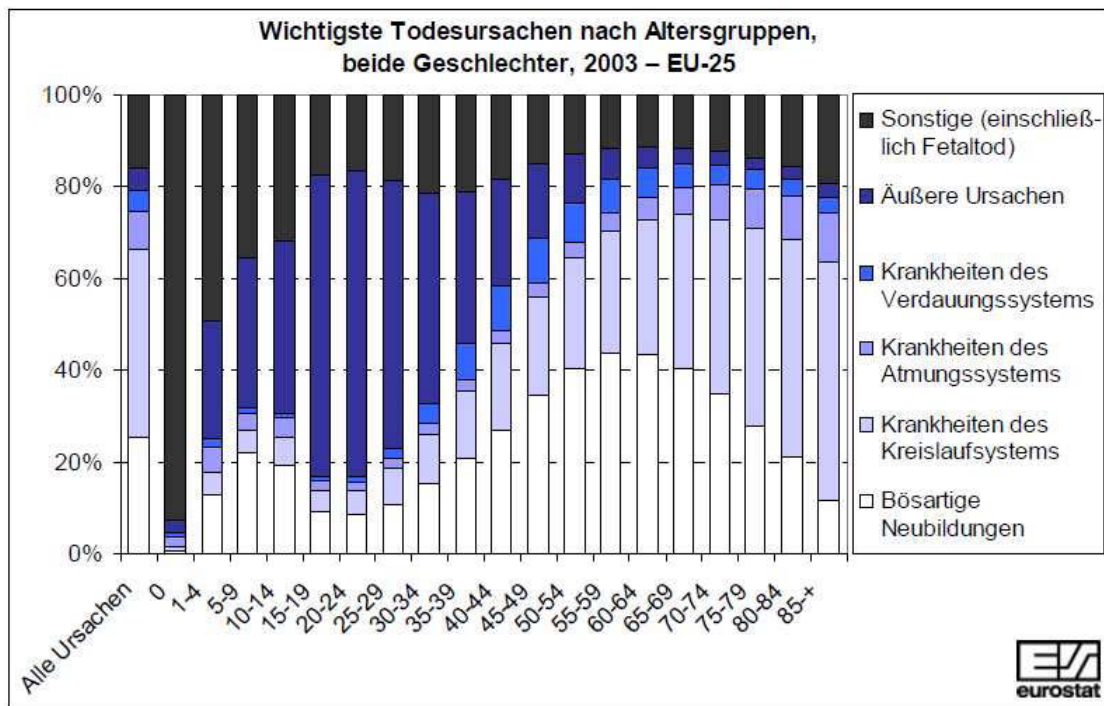


Abb. 22, Diagramm, wichtige Todesursachen nach Fünfjahresklassen, statistisches Amt der Europäischen Union [49]

In den Leitlinien des ERC 2005 wird die jährliche Inzidenz von Reanimationen wegen außerklinischer Kreislaufstillstände mit kardialer Ursache, zwischen 50 und 66 pro 100 000 Einwohner angegeben. Für Deutschland mit einer geschätzten Einwohnerzahl von 82 Millionen im Jahr 2009 [26] ergibt dies eine Anzahl von ca. 48 000 Reanimationen pro Jahr. Die Rate der innerklinischen Reanimationsfälle ist wegen unterschiedlicher Do-not-attempt-resuscitation Handhabung, sowohl zwischen als auch innerhalb der europäischen Länder, uneinheitlich. Sie variiert von 1,5 in Norwegen bis 3,3 in England pro 1000 stationär aufgenommene Patienten [38].

Die Häufigkeit der außerklinischen Kreislaufstillstände stellt an das Management, die Logistik und die Durchführung der Reanimation hohe Anforderungen, insbesondere an die organisierten Rettungsdienste sowie die direkt beteiligten professionellen Helfer.

Ungeachtet der Anstrengungen im prä- und innerklinischen Bereich, sind die therapeutischen Erfolge nach Reanimationen bis heute eher ernüchternd. Der Anteil der Patienten, die außerhalb eines Krankenhauses von einem Notfallteam reanimiert wurden und die Krankenhausentlassung erlebten, wird mit 5 - 10 % angegeben [38]. Bei Patienten, die innerhalb eines Krankenhauses reanimiert und anschließend entlassen wurden, beträgt der Anteil 17 % [2].

Um zukünftig die Reanimationserfolgsraten zu steigern, wurde im Mai 2007 von der deutschen Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin der Start des bundesweit, internetbasierten Reanimationsregisters bekanntgegeben. Es ist ein Instrument der einheitlichen und somit vergleichbaren systematischen Datenerfassung abgelaufener Reanimationsbehandlungen. Das Register beruht auf den Grundlagen des Utstein-Style-Protokolls, eine im Jahr 1991 veröffentlichte Empfehlung der internationalen Reanimationsgesellschaften (ERC, AHA, Australian Resuscitation Council, Heart and Stroke Foundation of Canada) zur einheitlichen Datenerfassung von Herzkreislaufstillständen [16].

Durch die bundesweit zentrale Zusammenführung und Auswertung der Daten, ist ein Qualitätsmanagement sowie der Vergleich mit einzelnen Standorten national und international möglich. Auch können veränderte Prozessabläufe der Reanimationsbehandlung oder strukturelle Schwachpunkte in der jeweiligen Rettungsorganisation im Vergleich überprüft werden, um Verbesserungen zu initiieren.

Eine erste Analyse der Jahre 2007 und 2008 in Deutschland [30] ergab bei außerklinischen Herzkreislaufstillständen bei ca. einem Viertel der Fälle einen

defibrillierbaren Rhythmus. Bei 42 % wurde die Wiederherstellung eines Kreislaufs erreicht und 36 % der Patienten wurden mit einem eigenen Kreislauf in ein Krankenhaus eingeliefert. Über die Krankenhausentlassungsrate gibt diese Analyse keine Aussage. Bemerkenswert ist, dass von den außerklinischen Herzkreislaufstillständen über 60 % beobachtet wurden, jedoch in weniger als 19 % durch Laien Wiederbelebungsmaßnahmen stattfanden.

4.1.1. Historie

Das Bemühen, Menschen mit fehlenden Lebenszeichen wieder zu beleben, lässt sich weit in die Geschichte zurückverfolgen. Die Praktik der Atemspende wird bereits in der Bibel, im Alten Testament zweites Buch der Könige, erwähnt. Von Hebammen ist seit Jahrhunderten die Mund-zu-Mund Atemspende bei Neugeborenen als Reanimationsmaßnahme weitergegeben worden. Im 16. Jahrhundert wurde erstmals von Paracelsus die Blasebalg-Nasen-Beatmung zur Wiederbelebung erwähnt. Im Jahr 1732 berichtete William A. Tossach, ein schottischer Chirurg, von einer erfolgreichen Wiederbelebung bei einem Kohlebergwerksarbeiter nach einem Minenbrand mittels Mund-zu-Mund Beatmung [14].

Durch die Entdeckung des Sauerstoffs und dessen physiologischer Bedeutung durch die Versuche von Lavoisier, wurde der Ausatemluft, wegen des geringeren Sauerstoffanteils, jedoch keine Bedeutung für die Wiederbelebung beigemessen. Durch zusätzliche Berichte von Barotaumata, verursacht durch Blasebalginsufflationen, wurden alternative Methoden zur Unterstützung der Beatmung favorisiert [14]. In den folgenden Jahrhunderten wurden aus heutiger Sicht teils skurrile Methoden zur Wiederbelebung beschrieben, wie beispielsweise warme Luft oder Tabakrauch mittels einer Klistierspritze oder eines Blasebalgs in den Enddarm zu insufflieren. Im 18.

Jahrhundert wurden mehrere unterschiedliche Methoden zur Wiederbelebung erwähnt, wie die Umkehrmethode, bei der die vorwiegend Ertrunkenen an den Knöchel angebunden, rhythmisch hochgezogen und heruntergelassen wurden, um dadurch Luft in den Brustkorb des Patienten ein- und auszudrücken oder die im Jahr 1750 in den Niederlanden beschriebene Fassmethode, bei der aus dem Meer Gerettete bäuchlings auf ein Fass gelagert und anschließend hin und her gerollt wurden. Dieses Prinzip ist ähnlich der Anwendung, einen Ertrunkenen auf ein trabendes Pferd zu legen, um durch die rhythmischen Kompressionen und Dekompressionen Wasser aus den Lungen zu befördern und die Ein- und Ausatmung zu unterstützen. Im Jahr 1858 publizierte H. R. Sylvester die nach ihm benannte Technik der Atemspende im British Medical Journal [7]. Mit dieser Methode soll durch die passiven Armbewegungen nach oben, von außen die natürliche Inspirationsbewegung des Thorax nachgeahmt werden und somit Luft in die Lungen gelangen. Zur Unterstützung der Expiration wurden die Arme gegen den Thorax gedrückt.

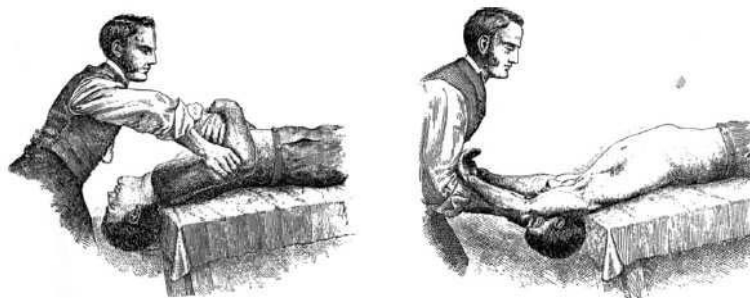


Figure 2 Sylvester's technique. From: Hewitt FW. Anaesthetics and Their Administration. London: MacMillan and Co. Ltd.; 1907. pp. 556–7.

Abb. 23, Atemspende nach Sylvester [7]

Diese Methode war in Europa und Amerika weit verbreitet und bis Ende der 1950er Jahre allgemein anerkannt.

All diese Wiederbelebensmaßnahmen im frühen 18. Jahrhundert hatten die Unterstützung und Wiederherstellung der Atmung zum Ziel.

1858 publizierte Janos Balassa [6], ein ungarischer Chirurg, den Fall einer erfolgreichen Wiederbelebung bei einer 18-jährigen asphyktischen Patientin mit sekundärem Larynxödem. Balassa wurde wegen der Erstickungssituation zu der Patientin gerufen, er beschrieb, wie er bei der nach Luft ringenden, kaltschweißigen und zyanotischen Frau, mit zunehmend flacher werdendem palpablem Puls, nach Eintritt von Bewusstlosigkeit und fehlendem Puls eine Notfall-Tracheotomie mit anschließenden rhythmischen, anterioren Thoraxkompressionen zur Atemunterstützung vollführte. Nach ca. sechs Minuten zeigten sich die ersten spontanen Atembewegungen. Nach weiteren Atemunterstützungen, in der Beschreibung von Balassa durch seine Hand d. h. mittels Thoraxkompressionen, begann die Patientin wieder normal zu atmen, ihr Herzschlag und Puls kehrten zurück. Die Thoraxkompressionen vollführte Balassa, entsprechend der Überzeugung seiner Zeit, zur respiratorischen Unterstützung. Nach heutigem Verständnis wirkten die Thoraxkompressionen als externe Herzdruckmassage (HDM), die bei dem geöffneten Luftweg eine minimale, jedoch effektive Ventilation der Patientin ermöglichte. Dieser beschriebene Fall ist das erste dokumentierte Beispiel einer erfolgreich durchgeführten Reanimation durch externe Thoraxkompressionen, auch wenn die rhythmischen Kompressionen nicht als Herzdruckmassage, sondern zur Förderung der Atmung gedacht waren.

Im Jahr 1874 dokumentierte Moritz Schiff, ein Physiologe in Florenz, die Wiederbelebung von durch Chloroform überdosiert narkotisierten Hunden mittels offener Herzmassage [14].

1878 veröffentlicht R. Boehm seine Untersuchung „*Ueber wiederbelebung nach vergiftungen und asphyxia*,“ in der er erfolgreich die externe HDM durch Kompression auf die Rippen und das Sternum bei chloroformnarkotisierten, pulslosen Katzen durchführte [14].

Franz König, ein Chirurg in Göttingen, beschreibt im Jahr 1883 in seinem Lehrbuch der kleinen Chirurgie [42], bei Herzstillständen während einer Chloroformnarkose, seinerzeit benannt als Chloroformsynkope, die Kompressionen in der Herzgegend mit einer Atemfrequenz von 30 – 40 pro Minute auszuführen, als Alternative zu der Methode nach Sylvester. Ihm sei auf diese Weise sechs Mal die erfolgreiche Wiederbelebung gelungen.

Friedrich Maass [46], Chirurg in Göttingen in der Abteilung von Franz König, beschrieb 1892 die erfolgreiche Reanimation von zwei Patienten, die während einer Chloroformnarkose einen Herzkreislaufstillstand erlitten. Er modifizierte die Anwendung der Thoraxkompressionen nach der Methode von F. König, indem er die Thoraxkompressionsfrequenz von ca. 40 auf 120 pro Minute steigerte. Er bezweifelte die zu dieser Zeit gängige Vorstellung, dass während einer Chloroformnarkose der Stillstand der Atmung immer vor dem Herzstillstand erfolgt. Nach seinen klinischen Beobachtungen war der Herzstillstand die Ursache. Er wies darauf hin, dass die energischen Kompressionen auf die Herzgegend mit einem relativ kleinen Respirationseffekt mehr geleistet hätten als die ausgiebigen Atemmanöver nach der Methode von Sylvester und dass die einem schnellen Puls angepassten Kompressionen (Steigerung der Kompressionsfrequenz von 40 auf 120 pro Minute) wirksamer waren, als wenn sie an der Atemfrequenz orientiert durchgeführt wurden. Nach seinen Beobachtungen sollten die Kompressionen mit einer Frequenz von 120 pro Minute so lange fortgeführt werden, bis sich der Zustand des Patienten bessert. Er beschreibt weiter, dass die Wirksamkeit der Thoraxkompressionen durch die Kontrolle des künstlich erzeugten Karotispulses und die Verengung der Pupillen erkenntlich seien. Eine zweite Person sollte während dieser Bemühungen die Atemwege offenhalten. Solange der Zustand des Patienten sich nicht wesentlich gebessert habe, sei es zweckmäßig, möglichst wenige und kurze Pausen zu machen.

Friedrich Maass beschrieb als erster Arzt die erfolgreiche Durchführung von Thoraxkompressionen als externe Herzdruckmassage zur Wiederbelebung beim Menschen. Seine klinischen Beobachtungen sowie die von ihm formulierten, bis heute aktuellen Schlussfolgerungen, fanden jedoch keine nachhaltige Beachtung und gerieten für ca. 70 Jahre in Vergessenheit.

George W. Crile, ein amerikanischer Chirurg, erforschte und dokumentierte 1903 die Anwendung von Adrenalin beim Herzstillstand. Er führte als Erster 1904 in den USA erfolgreich am Patienten eine externe HDM zur Wiederbelebung durch [66].



Abb. 24, George W. Crile [66]

Trotz der hier erwähnten Publikationen von erfolgreich angewandter externer Herzdruckmassage zur Wiederbelebung, war seit der Reanimation durch K. Igelsrud, der mittels Thorakotomie die direkte Herzmassage im Jahr 1901 erfolgreich während einer Hysterektomie durchführte, diese Methode bis in die 1950 er Jahre die allgemein anerkannte Vorgehensweise der Wiederbelebung bei Herzkreislaufstillständen. Die Invasivität dieser Methode blieb den Spezialisten vorbehalten. Eine Verbreitung dieser Anwendung außerhalb chirurgischer Abteilungen fand nicht statt.

Im Jahr 1954 gelang Elam et al. der Nachweis eines ausreichenden Gasaustauschs mittels Expirationsluft eines Helfers zur künstlichen Beatmung [21]. In den folgenden Jahren konnte von der gleichen Arbeitsgruppe, Safar die Effektivität der Mund-zu-Mund Beatmung nachweisen [31, 22, 23, 63].

Kouwenhoven, Jude und Knickerbocker veröffentlichten 1960 [43] die von ihnen wiederentdeckte erfolgreiche Technik der äußeren Herzdruckmassage. Ein Jahr später beschrieb Safar [62] den verbesserten Erfolg einer Reanimation, wenn die äußere Herzdruckmassage mit der Mund-zu-Mund Beatmung kombiniert angewandt wird.

1966 wurde die Mund-zu-Mund Beatmung und die externe Herzdruckmassage als Methode zur Wiederbelebung durch ein Komitee des National Research Council in den USA empfohlen [12].

Die Empfehlungen Safars als Einhelfermethode ein Kompressions-Beatmungsverhältnis von 15 : 2, als Zweihelfermethode von 5 : 1 anzuwenden, wurde fast 40 Jahre beibehalten.

Im Dezember 2000 wurden von der ILCor in Zusammenarbeit mit der AHA und des ERC die Empfehlungen zur CPR erstmals seit 1961 geändert. Unabhängig von der Anzahl der anwesenden Helfer wird nun das Kompressions-Beatmungsverhältnis von 15 : 2 empfohlen [3]. Seit dem Jahr 2000 werden in fünfjährigen Abständen die Leitlinien zur cardiopulmonalen Reanimation auf Grundlage jeweils aktueller Forschungsergebnisse von internationalen Wissenschaftsgremien überprüft, neu bewertet und aktualisiert veröffentlicht.

Die vorliegende Studie nahm während der Durchführung Bezug auf die bis dahin zuletzt veröffentlichten Leitlinien 2005 [25].

Die Leitlinien 2010 wurden nach Beendigung der Studie publiziert [28, 52].

4.1.2. Geänderte Empfehlungen 2005 des European Resuscitation Council

Die ERC-Empfehlungen 2005 betonen die Bedeutung der Thoraxkompressionen als grundlegende Maßnahme der Organperfusion und Voraussetzung zur Wiedererlangung der spontanen kardiozirkulatorischen

Funktion. Das Kompressions : Beatmungsverhältnis wurde von 15 : 2 auf 30 : 2 erhöht und während des Basic-Life- und des Advanced-Life-Supports empfohlen [25]. Unterbrechungen durch Helferwechsel, diagnostische oder therapeutische Maßnahmen sollten unterbleiben oder so kurz wie möglich sein. Die notwendigen Maßnahmen, venöse Kanülierung, Intubation oder Defibrillation, sollen nicht länger als jeweils 10 Sekunden beanspruchen. Der Helferwechsel zur Thoraxkompression soll in weniger als fünf Sekunden durchgeführt werden. Bei Anwesenheit von zwei Helfern soll nach zwei Minuten derjenige, der die Thoraxkompressionen ausführt, ausgewechselt werden. Diese Empfehlung ist nicht evidenzbasiert. Sie wurde auch in der neuesten Überarbeitung der ERC-Empfehlungen 2010 [52] ohne Klassifizierungsgrad ausgesprochen.

Ziel dieser Neugewichtung der Thoraxkompressionen ist eine Abnahme der Unterbrechungen der externen HDM, um die No-flow-time während der Reanimation möglichst gering zu halten.

Die Bedeutung der Thoraxkompressionen wird erneut durch die am 31. 3. 2008 veröffentlichte Stellungnahme des ERC [27] unterstrichen. Darin wird die Durchführung der ununterbrochenen Thoraxkompressionen auch ohne Beatmung empfohlen. Dies soll eine akzeptable Alternative für Ersthelfer ohne Ausbildung in BLS-Maßnahmen sein, wenn sie keine Mund-zu-Mund-Beatmung durchführen wollen oder können. Man erhofft sich durch diese Empfehlung eine erhöhte Bereitschaft der Laienhelfer zum möglichst frühzeitigen Beginn der externen Herzdruckmassage. Eine Reanimation nur mit Thoraxkompressionen ist nach der Stellungnahme des ERC zielführender als eine verzögert begonnene oder eine unterlassene CPR.

Mit den Änderungen der ERC-Empfehlungen [25, 52] ist die körperliche Beanspruchung der Helfer erhöht worden. Der Aspekt der Ermüdung der Helfer, mit daraus resultierender unzureichender CPR-Durchführung ist besonders zu berücksichtigen.

4.2. Physiologie

Während eines Kreislaufstillstands sollen die BLS-Maßnahmen einen Blutkreislauf initiieren und aufrechterhalten und somit vor allem die Versorgung von Gehirn und Herz mit Sauerstoff sichern. Hypoxische Zustände führen gerade im Hirngewebe schon nach fünf Minuten zu irreversiblen Schäden. Das hauptsächliche Ziel der CPR ist, einen effektiven Fluss von oxygeniertem Blut zum Herzmuskel und zum Gehirn zu erreichen. Das Vorwärtstreiben des Blutes während der externen HDM wird durch zwei theoretische Mechanismen erklärt:

1. Der Herzpumpenmechanismus:

Der Blutfluss entsteht durch die Kompression und Dekompression des Herzens zwischen Sternum und Wirbelsäule. Durch die Erzeugung eines Druckgradienten bei verschlossenen Atrioventrikularklappen erfolgt der Auswurf von Blut aus den Ventrikeln in die Aorta und in die Pulmonalarterien. In der Dekompressionsphase, wenn der Thorax sich zurückstellt und der intrakardiale Druck abfällt, erfolgt der venöse Rückstrom zum Herzen. Die Atrioventrikularklappen sind offen und die Ventrikel füllen sich mit Blut. Bei dieser Theorie wird angenommen, dass die Herzklappenfunktion erhalten ist und somit ein Blutrückfluss von den Ventrikeln in die Vorhöfe während der Kompression verhindert wird. Durch diese Mechanismen wird auch die direkte Herzmassage bei eröffnetem Thorax erklärt.

2. Der Thoraxpumpenmechanismus:

Criley [15] beschrieb 1976 die Hustenreanimation. Während der Herzkatheteruntersuchung trat bei acht Patienten Kammerflimmern auf. Durch die Aufforderung zum kraftvollen Husten mit einer Frequenz von 30-40/min wurde ein suffizienter Blutfluss erzeugt und die Bewusstlosigkeit verhindert, bis die Defibrillation angewendet werden konnte. Der mittlere systolische Druck mittels Husten betrug 139 mmHg, bei der externen HDM

60 mmHg. Dies wurde zur Bestätigung für die Thoraxpumpentheorie gewertet.

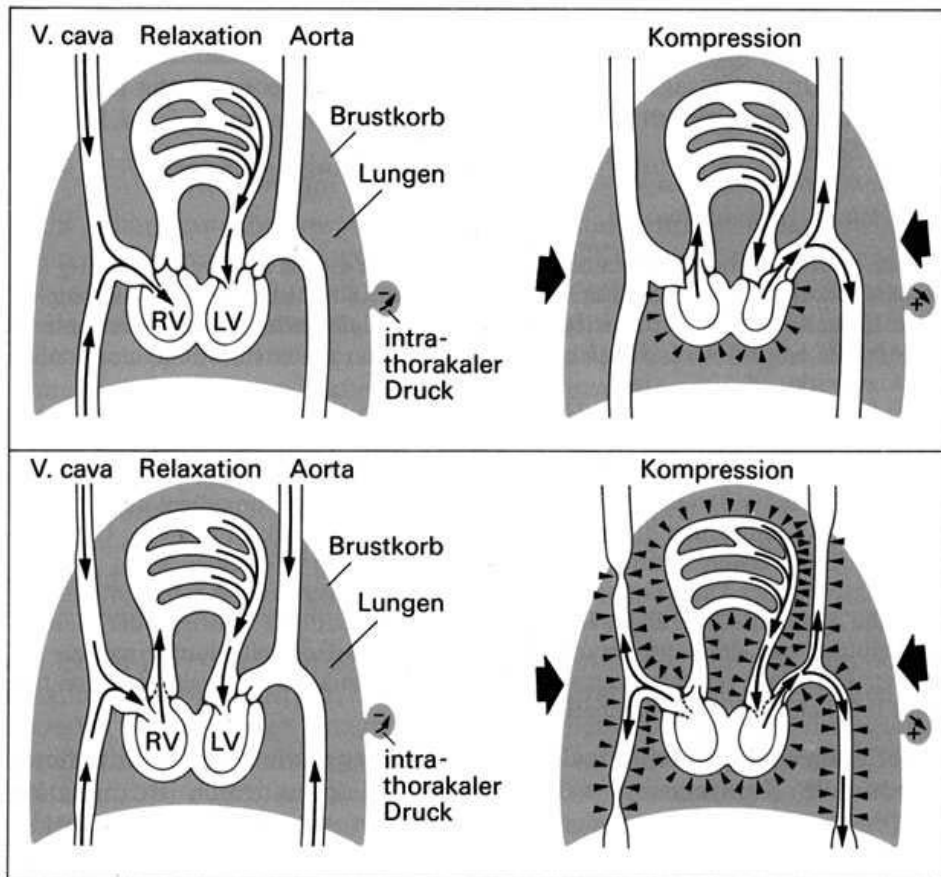


Abb. 25: Blutfluss während der kardiopulmonalen Reanimation

Oberes Bild: Herzpumpenmechanismus

Unteres Bild: Thoraxpumpenmechanismus

Aus: Notfall- und Intensivmedizin; W. Dick (Hrsg.) de Gruyter 1982

Bei diesem Pumpenmechanismus wirkt nach Rudikoff et al. [61] der Kompressionsdruck im gesamten Thorax auf alle vier Herzräume und auf alle intrathorakal gelegenen Gefäße. Über die Arterien wird der Druck in die Peripherie geleitet. Ein Weiterleiten des Drucks in das extrathorakale Venensystem wird durch Venenklappen im Bereich der Venae subclaviae und der Jugularvenen sowie infolge eines Kollaps der Venen in Höhe der

Thoraxapertur verhindert. Die wandstarken Lungenarterien bleiben offen. Aufgrund des entstandenen peripheren arteriovenösen Druckgradienten resultiert ein antegrader Blutfluss. Nach den Druckmessungen von Rudikoff ist die entscheidende Größe für den Blutfluss während der CPR beim Menschen die Erhöhung des intrathorakalen Drucks, nicht die direkte Kompression des Herzens. Die Thoraxkompression führt zu einer Mobilisation von Blut aus dem pulmonalen Gefäßbett zum und durch das Herz in den systemischen Kreislauf, entsprechend dem Druckgradienten zwischen intra- und extrathorakalen Gefäßen. Während der Thoraxkompression sind die Mitralklappe und die Aortenklappe gleichzeitig offen und der linke Herzventrikel verhält sich passiv, ähnlich einem Durchflussraum. In der Dekompressionsphase kommt es durch die Rückstellkräfte des Brustkorbs zu einem intrathorakalen Druckabfall unter dem des extrathorakal gelegenen venösen Systems und somit zu einem Blutfluss in die intrathorakalen Venen und das pulmonale Gefäßbett. Das gesamte pulmonale Gefäßbett wirkt, als ein sich füllendes und entleerendes Pumpreservoir.

Transösophageal-echokardiographische Untersuchungen unterstützen aufgrund der Darstellung von geschlossenen Atrioventrikularklappen die Herzpumpentheorie [17, 44]. Die angiografischen und echocardiografischen Studien zur Visualisierung der Herzaktion von Niemann und Werner [50, 76] zeigten jedoch während der CPR die Atrioventrikularklappen bei einem Teil der Untersuchten in geöffnetem Zustand. Die Herzkammern verhielten sich entsprechend einem passiven Durchflussraum.

Babbs postuliert für den Vorwärtsblutfluss während der CPR einen Hybridpumpenmechanismus [5]. In mathematisch physiologischen Modellberechnungen nahm der intrathorakale Druck in den pulmonalen Kapillaren, den Venae cavae und der Aorta Werte an, die zwischen den Werten liegen, die bei einer Thoraxpumpen-CPR und denen, die bei einer offenen Herzpumpen-CPR auftreten, gemessen werden [5]. Beide

Mechanismen erzeugen einen vorwärts gerichteten Blutfluss und sind bei der CPR wirksam. Abhängig von der Anatomie, der Geometrie des Thorax und der Thoraxkompressionstechnik überwiegt jeweils einer der beiden Pumpenmechanismen. Bei Erwachsenen mit breitem Thorax und großem Thoraxvolumen dominiert der Thoraxpumpenmechanismus, während bei Kindern mit kleinem Thorax und relativ stark einwirkender Kompressionskraft, während der CPR, der Herzpumpenmechanismus dominiert.

Um die Wiederkehr des Spontankreislaufs d. h. die Wiederaufnahme einer effektiven Pumpfunktion des Herzens zu erreichen, muss das Organ Herz ausreichend perfundiert werden.

Paradis et al. [55] registrierten 1989 in einer physiologischen Untersuchung während kardiopulmonaler Reanimationen, dass exakt ausgeführte Thoraxkompressionen einen systolischen Peak von 60 – 80 mmHg erreichen können, der registrierte diastolische Druck blieb niedrig.

Der mittlere arterielle Druck in den Karotiden überschreitet selten 40 mmHg. Durch Thoraxkompressionen wird nur ein Viertel, maximal ein Drittel des normalen kardialen Auswurfs erreicht. Der koronare Perfusionsdruck (CPP) wird unter laufender HDM durch den Druckgradienten zwischen Aorta und rechten Vorhof, während der Thoraxentlastung, entsprechend der Diastole, bestimmt.

Yu et al. untersuchten 2002 [79] die Auswirkungen von häufigen Thoraxkompressionsunterbrechungen während der CPR. Dabei zeigten sich mit zunehmenden Unterbrechungen ein abnehmender ROSC-Erfolg und eine Zunahme der myokardialen Dysfunktion nach der Reanimation. Steen et al. [70] zeigten in ihrer Studie, dass häufige Unterbrechungen oder ineffektive Thoraxkompressionen mit einem schlechten neurologischen Outcome verbunden sind. Weiter wiesen sie nach, dass nach über vier Minuten anhaltendem Kreislaufstillstand, mindestens 100 Kompressionen notwendig sind, um einen positiven CPP zu erreichen und weitere 50 Kompressionen, um in den Koronararterien einen Druck von 15 mm Hg aufzubauen. Ein

Mindestperfusionsdruck in den Koronararterien von 15 mmHg vor einer Defibrillation ist als Voraussetzung für deren Erfolg bestimmt worden [70, 56]. Die bedeutsame Tragweite der Koronarperfusion vor einer Defibrillation zeigten Edelson et al. 2006 [19] in ihrer Multicenter-Beobachtungsstudie. Bei 60 Reanimationen außer- und innerhalb des Krankenhauses fanden sie eine signifikante Abnahme der Wahrscheinlichkeit eines Reanimationserfolgs, wenn die Präschockpausen länger als 10 Sekunden dauerten und wenn die Thoraxkompressionen zu flach ausgeführt wurden. Nach dieser Untersuchung ist die nach dem ERC 2005 empfohlene maximale Thoraxkompressionstiefe von fünf Zentimeter noch zu vertiefen. Die Patienten, bei denen der Thorax um mehr als fünf Zentimeter komprimiert wurde, hatten mit einer signifikant höheren Wahrscheinlichkeit eine erfolgreiche Defibrillation.

In der aktuellen Studie aus dem Jahr 2010 von Sell et al. [65] konnte bei abnehmender Thoraxkompressionspause vor und nach einer Defibrillation, ein Anstieg der Wahrscheinlichkeit auf ein ROSC-Ereignis nachgewiesen werden. Eine Kompressionspause unter drei Sekunden vor einer Defibrillation war mit einem sechsfachen Anstieg verzeichnet, während eine Kompressionspause unter sechs Sekunden nach einer Defibrillation, mit einem zehnfachen Anstieg verzeichnet war. Bei kombiniertem Auftreten der minimierten Kompressionspausen war die Wahrscheinlichkeit für ein ROSC-Ereignis um das 13-fache angestiegen.

In der Studie von Bobrow et al. [9] wurde ein veränderter Ablauf des BLS bei der Versorgung von Patienten mit außerklinisch erlittenem Herzkreislaufstillstand untersucht. Dieser Ansatz zielte auf die Reduzierung von Unterbrechungen der Thoraxkompressionen während der CPR. Initial wurden unverzüglich und ununterbrochen 200 Thoraxkompressionen verabreicht, dann erst erfolgte die Rhythmusanalyse und evtl. die Defibrillation. Unmittelbar nach der Defibrillation wurden ununterbrochen 200 Thoraxkompressionen durchgeführt, danach erfolgte die Kontrolle der

Rhythmusanalyse. Es sollte möglichst frühzeitig intravenös Adrenalin appliziert werden. Die Intubation sollte verzögert, frühestens nach dem dritten Zyklus erfolgen. Die passive Sauerstoffinsufflation wurde mittels oropharyngealer Atemweghilfsmittel unterstützt. Nach Intubation wurde der PEEP zur Beatmung möglichst niedrig eingestellt, um den venösen Rückfluss während der Dekompressionsphasen nicht zu erschweren. Dieses neue Konzept in der Strukturierung des BLS-Ablaufs wurde als „Minimally Interrupted Cardiac Resuscitation“ (MICR) vorgestellt. Ziel ist eine maximale Durchblutung von Gehirn und Myokard während einer Reanimation zu erreichen. Bei den Patienten, die außerklinisch einen Herzkreislaufstillstand erlitten, erfolgreich reanimiert und im Krankenhaus weiterbehandelt wurden, stieg der Anteil derjenigen, die die Krankenhaus Entlassung erlebten, nach Implementierung des MICR-Konzepts von 1,8 % auf 5,4 %. Bei Patienten mit bezeugtem Herzkreislaufstillstand und initial dokumentiertem Kammerflimmern stieg dieser Anteil von 4,7 % auf 17,6 %.

All diese Untersuchungen zeigen, dass die Thoraxkompressionen während des BLS, wenn sie rechtzeitig begonnen und optimal durchgeführt werden, zwar ausreichen, jedoch grenzwertig sind. Bei mangelhafter Ausführung werden sie rasch ineffektiv und sind mit schlechten Reanimationsergebnissen assoziiert.

Abella et al. wiesen in ihrer Studie 2005 [1, 2] die mangelnde CPR-Qualität bei Herzkreislaufstillstand im Krankenhaus nach, auch wenn in der Reanimation erfahrene Helfer die CPR durchführten. Nach den damaligen Empfehlungen aus dem Jahr 2000 [3] war die Thoraxkompressionsrate zu niedrig sowie die Kompressionstiefe zu flach. Suboptimal niedrige Kompressionsraten waren mit einer erniedrigten Wahrscheinlichkeit für ein ROSC verbunden. Im gleichen Jahr veröffentlichten Wik et al. [77] ihre Ergebnisse über die Qualität der präklinischen CPR bei Herzkreislaufstillstand. Sie beobachteten 70 % der Kompressionen als zu

flach verabreicht. Nach Abzug der EKG-Analyse und Defibrillationszeit wurden in 38 % der Zeit des Kreislaufstillstands keine Thoraxkompressionen ausgeführt.

Schlussfolgernd aus den dargestellten Untersuchungen kann postuliert werden, dass der Helfer mittels externer HDM einen Blutfluss generieren muss, um die Perfusion und Integrität der lebenswichtigen Organe, Herz und Gehirn zu sichern. Ausschlaggebend zur Wiederherstellung von spontanen Herzaktionen ist das Zustandebringen eines suffizienten koronaren Perfusionsdrucks. Das Erreichen dieses Ziels und damit das Überleben und das Outcome der Patienten ist in hohem Maße von der Qualität der CPR abhängig.

Es liegt nahe, die Vorgaben zum Reanimationsablauf für die Helfer möglichst so zu strukturieren, dass ineffektive Thoraxkompressionen als Ergebnis von zunehmender Erschöpfung der Helfer ebenso vermieden werden wie ein vermehrter Aufgabenwechsel im Team, da jeder Wechsel mit einer Erhöhung der No-flow-time einhergeht.

4.3. Diskussion der Ergebnisse

Diese Simulationsstudie orientierte sich an dem Szenario der Zwei-Helfer-BLS. Der Patient ist nicht intubiert und entsprechend den Leitlinien aus dem Jahr 2005 des ERC [25] zu reanimieren.

In vorhergehenden Studien mit dem Thema körperliche Belastung der Helfer und Qualität der CPR-Durchführung sind bisher Zeiträume zwischen zwei und 18 Minuten untersucht worden [53, 4].

In der vorliegenden Studie wurde die Dauer von acht Minuten gewählt, um einen realistischen Zeitrahmen für die BLS-Simulation abzubilden. Ein

Wechsel der Helfer war nicht geplant, um die Auswirkungen der körperlichen Belastung bei der verlängerten HDM-Durchführung in den drei unterschiedlich klimatisierten Räumen erfassen zu können.

4.3.1. Methodenkritik

Aufgrund der präzisen Fragestellung und der essenziellen Bedeutung der Erfassung von exakten Parametern wurde für die vorliegende Studie eine Simulation am Modell unter standardisierten Bedingungen mit freiwilligen Probanden gewählt.

Die Anwendung einer Simulationspuppe schloss patientenbedingte Störgrößen während des Versuchsablaufs aus. Die Thoraxkompressionen waren, bedingt durch die gleichbleibenden Materialeigenschaften des Modells, immer gleich schwer durchzuführen.

Ein weiterer Vorteil einer Simulationsstudie ist die zeitlich, von Notfallereignissen unabhängig planbare Durchführung.

Für jeden der drei unterschiedlich klimatisierten Räume konnten jeweils gleich bleibende Umgebungsbedingungen hergestellt und so umgebungsbedingte zusätzliche Einflussgrößen ausgeschlossen werden. Unter diesen standardisierten Bedingungen des Versuchsablaufs war die größtmögliche Vergleichbarkeit der Daten realisiert. Die Messung der verabreichten Thoraxkompressionen unter den verschiedenen klimatischen Bedingungen wäre in einer Realsituation von einer Vielzahl zusätzlicher Einflussgrößen beeinträchtigt.

Andererseits sind die experimentellen Bedingungen der Simulationsstudie nur eingeschränkt auf reale Reanimationssituationen übertragbar.

Simulationen können die meist dramatische Situation einer Reanimation nicht wiedergeben. Die Durchführung von Wiederbelebensmaßnahmen in einer konstruierten Simulation ist zweifelsohne stressfreier als eine reale

Reanimation. Allen Probanden war die experimentelle Situation bewusst. Dieser Umstand könnte indirekt ihre physiologischen Reaktionen und die Selbstwahrnehmung ihrer körperlichen Belastungsfähigkeit beeinflusst haben. Die Selbsteinschätzungen der Probanden sind naturgemäß subjektiv und beinhalten Verzerrungen ihrer Einschätzungen, vor und nach den BLS-Simulationen, bedingt durch die jeweils veränderten Erlebnis- und Wahrnehmungssituationen.

Unter den experimentell kontrollierten Bedingungen der vorliegenden Simulationsstudie waren der Ablauf und die Anforderungen für die Probanden auf die Verabreichung von Thoraxkompressionen und Beatmungshübe begrenzt. Das Ansprechen des Opfers, die Beurteilung der Bewusstlosigkeit entfiel ebenso wie das Freimachen der Atemwege oder die Einbeziehung eines Defibrillators in den Reanimationsablauf. Zusätzlich erfordert ein realer BLS die Aufmerksamkeit und die Bereitschaft der Helfer, auf Änderungen des Patientenzustands oder hinzukommende Veränderungen in der Reanimationssituation zu reagieren.

Diese Anforderungen sind in einer Simulation ausgeschlossen. Es ist davon auszugehen, dass die Fokussierung auf die Applikation von Thoraxkompressionen und Beatmungshübe zu einer geringeren Beeinträchtigung der Kompressionseffektivität im BLS-Verlauf führt. Rittenberger et al. beschrieben in ihrer Studie eine abnehmende Effektivität der CPR, je mehr Aufgaben die Probanden während einer Reanimation erfüllen mussten [60]. In der vorliegenden Studie waren der BLS-Ablauf sowie die Anordnung von Simulationsmodell und Probanden standardisiert gleich.

Des Weiteren ist vorstellbar, dass die Probanden im Studienverlauf von einer Simulation zur nächsten geübt werden und qualitative Veränderungen im CPR-Ablauf weniger durch die klimatisch unterschiedlichen Belastungen beeinflusst werden als durch einen positiven Trainingseffekt im BLS-Ablauf.

4.3.2. Die Probanden

Die Probanden der vorliegenden Studie haben unterschiedliche Reanimationserfahrungen, sie sind alle Krankenhausmitarbeiter und nicht als Laien einzustufen.

Die Geschlechtsverteilung war mit 20 Frauen und 21 Männern fast ausgeglichen. Auf die Frage eines möglichen Effekts des Geschlechts, bezüglich der Fähigkeit zur Durchführung einer qualitativen CPR, sind vorhergehende Studien zu unterschiedlichen Ergebnissen gekommen. Ochoa et al. [53] und Brown et al. [11] konnten keinen Einfluss des Geschlechts auf die Qualität der Thoraxkompressionen nachweisen. Ashton et al. [4] beobachteten einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Anzahl von qualitativ ausgeführten Thoraxkompressionen und dem Geschlecht. Frauen verabreichten signifikant weniger qualitative ausreichende Kompressionen verglichen mit Männern. Verplancke et al. [75] zeigten, dass männliches Geschlecht mit qualitativ besseren Thoraxkompressionen assoziiert war. Pederby et al. [57] beschrieben in ihrer Untersuchung, dass die Kompressionstiefe bei Männern signifikant größer war. Ashton und Verplancke erklären diesen geschlechtsabhängigen Effekt durch die körperlichen Charakteristika von Männern und Frauen. Die Beziehung zwischen der Qualität der externen HDM sei primär von der Körpergröße und dem Gewicht und infolgedessen von dem Geschlecht der Helfer beeinflusst. Eine geschlechtsabhängige Auswirkung auf die Qualität der Thoraxkompressionen wurde in der vorliegenden Studie nicht untersucht.

Der Altersdurchschnitt der Probanden in der vorliegenden Studie lag bei 39 Jahren, der Jüngste war 26, der Älteste 56 Jahre alt.

Der Einfluss des Alters der Helfer auf die Qualität einer zweiminütigen CPR-Durchführung wurde von Peberdy et al. [57] 2009 bestätigt. Diese Untersuchung zeigte eine signifikante Abhängigkeit der verabreichten

Kompressionstiefe vom Alter des Helfers. Jüngere Helfer applizierten tiefere Thoraxkompressionen. Der Anteil der Thoraxkompressionen, die den Leitlinien der AHA und des ERC 2005 entsprachen, nahm stufenweise mit zunehmendem Alter der Helfer ab.

Im Gegensatz dazu steht die Untersuchung von Riera et al. [59], die unabhängig vom Alter und vom Geschlecht der Helfer nach einer zweiminütigen kontinuierlichen Kompressions-Reanimationssimulation keine wesentliche Qualitätsabnahme der Thoraxkompressionen feststellen konnten.

Zur gleichen Einschätzung gelangten Bridgewater et al. [10], die nach einer zehnminütigen Einzel-CPR keine Abhängigkeit von physiologischer Reaktion und Alter der Helfer finden konnten. Die CPR-Durchführung richtete sich nach den AHA-Empfehlungen aus dem Jahr 2000 [3]. Die Kompressions-Beatmungs-Ratio war 15 : 2. Mittels Metronom wurde eine Kompressionsfrequenz von 100 pro Minute vorgegeben. Die Qualität der externen HDM war in allen Altersgruppen gleich. In der aktuell 2010 veröffentlichten Studie aus Norwegen von Neset et al. [48] über die Effektivität der CPR bei 50 - 70 jährigen Laienhelfern kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass diese Altersgruppe fähig ist, eine CPR mit kontinuierlich applizierten Thoraxkompressionen ohne Beatmung oder mit einem Kompressions-Beatmungs Verhältnis von 30:2 in akzeptabler Qualität für 10 Minuten durchzuführen. Es wurde während einer zehnminütigen Simulation nur eine leichte Abnahme der Kompressionstiefe registriert. Insgesamt entsprachen die erzielten Thoraxkompressionen den Empfehlungen des ERC 2005.

In der vorliegenden Studie wurde wegen relativ geringer Spannweite des Alters der Probanden keine Auswertung nach Altersgruppen vorgenommen.

4.3.3. Belastungen des Basic-Life-Support, Extrembedingungen

Auf die grundsätzlich körperlich belastende Anforderung der externen HDM ist durch das vorzeitige Ausscheiden von drei Probanden in dieser Untersuchung wegen Rückenschmerzen hinzuweisen.

Bei inkorrekt rotierter Haltung der Wirbelsäule während der CPR-Durchführung beschreibt Jones [40] die Belastung der externen HDM insbesondere auf die Lendenwirbelregion. Von 200 befragten Schwestern klagten 88 % während oder nach einer CPR über Rückenschmerzen. 40 % der Befragten sahen einen direkten Zusammenhang ihrer Rückenschmerzen mit der CPR-Durchführung.

In unterschiedlich belastenden Szenarien wurde die Effektivität der CPR untersucht. Tipton et al. [73] untersuchten die Durchführung des BLS auf einem schmalen Rettungsboot auf See. Die Durchführung der CPR durch die Helfer wurde hauptsächlich durch bewegungsinduzierte, seegangsbedingte Unterbrechungen und früh aufgetretene Ermüdung der Helfers signifikant beeinträchtigt. Wegen der schaukelnden Bootsbewegungen war die Wahrscheinlichkeit auf eine effektive Durchführung und einen erfolgreichen BLS eher niedrig eingestuft worden. Insbesondere waren die Ventilationen schwerer zu applizieren als die Thoraxkompressionen. Dies nahm der Autor als Argument für die Applikation von kontinuierlichen Thoraxkompressionen ohne Ventilationen bei dieser speziellen CPR-Situation.

Mehrere Studien untersuchten die Durchführung der CPR während des Transports. Havel et al. [34] verglichen 2007 in einer Simulationsstudie die CPR während der Fahrt im Ambulanz-Transport und während des Helikopterflugs mit der CPR-Durchführung in einer festen Station. Sie stellten fest, dass die CPR während beider Transportarten durchführbar und effektiv ist. 2008 untersuchte die gleiche Arbeitsgruppe [33] die körperliche Belastung der CPR-Helfer. Es wurden, bezüglich der körperlichen Belastbarkeit der Helfer, keine klinisch relevanten Unterschiede während der Transporte im

Ambulanzauto oder im Hubschrauber festgestellt. Die selbst empfundene Erschöpfung war während der achtminütigen CPR-Simulation zunehmend.

In der aktuellen Simulationsstudie von Chung et al. [13] wurde der Einfluss der Geschwindigkeit des Ambulanztransports auf die CPR untersucht. Mit steigender Geschwindigkeit des Ambulanzfahrzeugs nahm der Anteil der Hands-off-time und die Rate der Thoraxkompressionen zu, die Anzahl von adäquat gegebenen Kompressionen nahm ab. Die ansteigende Geschwindigkeit des Ambulanzfahrzeugs verursacht eine erhöhte Beschleunigungsenergie und eine ungenauere Applikation der Thoraxkompressionen mit der Folge von unkontrollierten Bewegungen und Kraftabgaben. Aufgrund der erhöht gemessenen Kompressionsrate und den erforderlichen Ausgleichsbewegungen bei steigender Geschwindigkeit schlussfolgern die Autoren für die Helfer früher auftretende Erschöpfungszeichen mit resultierender Qualitätsabnahme der externen HDM.

Zusätzliche hinzukommende situationsbedingte Belastungen während einer Reanimation führen zu früher auftretender Erschöpfung der Helfer mit resultierender Qualitätsabnahme in der CPR-Durchführung. Dies ist bei der zeitlichen Planung des Aufgabenwechsels der Helfer mit zu berücksichtigen.

4.3.4. Fragen an die Probanden vor den BLS-Simulationen

4.3.4.1. Fragen an die Probanden nach ihrer CPR-Erfahrung und Kenntnis der ERC-Leitlinien

Vor der BLS-Simulation beantworteten die Probanden der vorliegenden Untersuchung Fragen über ihre CPR-Erfahrung und ihre Kenntnis der ERC-Leitlinien. Die Empfehlungen des ERC aus dem Jahr 2005 waren 34 Probanden (84 %) bekannt, den Übrigen waren die Empfehlungen aus dem Jahr 2000 bekannt.

Die Mehrzahl der Probanden gaben an, regelmäßig am Megacodetraining teilzunehmen.

Hierzu ist kritisch anzumerken, dass 33 Probanden (81 %) aus der anästhesiologischen Abteilung, drei Ärzte aus der internistischen und ein Arzt aus der unfallchirurgischen Abteilung kommen. Zwei Probanden sind Anästhesiefachpfleger und in der Lehre beauftragt. Zusammengenommen sind dies 37 Probanden (90 %). Von jedem Einzelnen wäre die Kenntnis der ERC-Leitlinien 2005 und die regelmäßige Megacode-Teilnahme zu fordern, da aus deren Aufgaben- und Tätigkeitsbereich die Mitglieder des innerklinischen Notfallteams rekrutiert werden.

In der Untersuchung von Brown et al. [11] waren genaue Kenntnisse der CPR-Leitlinien mit einer qualitativ besseren CPR-Durchführung bezüglich Kompressionsrate und Einhaltung der Kompressions-Beatmungs-Ratio assoziiert. Die Bedeutung einer hochwertigen CPR-Durchführung für das Überleben zeigten Wik et al. [78]. Patienten, die eine qualitativ minderwertige oder keine CPR erhielten, hatten vergleichbar schlechtere Überlebensraten. Patienten, bei denen eine qualitative hochwertige CPR durchgeführt wurde, wiesen eine signifikant bessere Überlebensrate auf. Abella et al. [2] zeigten in ihrer Untersuchung, dass bei innerklinischen Reanimationen von trainierten Helfern die Thoraxkompressionsrate suboptimal, unterhalb der Grenzen der

veröffentlichten Empfehlungen aus dem Jahr 2000 waren und dass höhere Kompressionsraten mit einem erhöhten Auftreten eines Spontankreislaufs (ROSC) korrelierten.

4.3.4.2. Fragen an die Probanden über die Häufigkeit an mitbeteiligten Reanimationen

Über 90 % der Probanden berichteten von einer Mitbeteiligung an einer CPR. Mehr als die Hälfte der Probanden (63 %) führte in den vergangenen 12 Monaten ca. sieben Reanimationen durch. Drei Probanden hatten nach eigener Angabe keine CPR-Erfahrung (Abb. 6, 7).

Insgesamt besteht bei den Probanden eine hohe Erfahrung an Reanimationssituationen. Verplancke et al. [75] kommen in ihrer Studie zu dem Schluss, dass neben dem männlichen Geschlecht, einem gewissen Maß an Selbstsicherheit, ein kürzlich absolviertes BLS-Training und eine vor kurzem durchgeführte CPR mit qualitativ besseren BLS Ergebnissen assoziiert sind. Die Erfahrung könne jedoch ein regelmäßiges BLS-Training nicht ersetzen. Ochoa et al. [53] wiesen in ihrer BLS-Studie über die Auswirkung der Ermüdung auf die Qualität der Thoraxkompressionen darauf hin, dass erfahrene, aber körperlich untrainierte Helfer, ihre mangelnde Fitness durch einen routinierten Handlungsablauf der CPR ausgleichen können. Bezüglich der CPR-Qualität bei erfahrenen Helfern, sei auf die Arbeiten von Abella [1, 2] und Wik [77] hingewiesen, die eine qualitativ schlechte CPR-Durchführung prä- und innerklinisch bei professionellen Helfern aufzeigten und damit die Notwendigkeit von regelmäßigen BLS-Trainingsprogrammen unterstrichen.

4.3.4.3. Frage nach regelmäßiger herz- oder kreislaufwirksamer Medikamenteneinnahme

Zwei Probanden gaben an, täglich β -Adrenorezeptorenblocker einzunehmen. Diese Aussagen blieb für die Planung und Durchführung der vorliegenden Untersuchung unberücksichtigt. Über den Einfluss von herzkreislaufwirksamen Medikamenten auf die CPR-Helfer, ihre körperliche Belastungsfähigkeit und die Qualität der CPR-Durchführung liegen keine Studien vor.

4.3.5. Selbsteinschätzung und Ablösungswünsche der Probanden

4.3.5.1. Selbsteinschätzung des allgemeinen körperlichen Trainingszustands vor der ersten BLS-Simulation

Die Befragung der Probanden vor der ersten BLS-Simulation über ihren körperlichen Trainingszustand ergab eine befriedigende bis gute Selbsteinschätzung (Abb. 8). Der Durchschnittswert lag bei sechs von zehn. Der niedrigste Ratingwert war vier, er wurde von sechs Probanden angegeben. Der am höchsten genannte Wert war neun, er wurde von einem Proband genannt. 14 Probanden schätzten sich mit einem Ratingwert unter sechs, 17 über sechs ein.

4.3.5.2. Selbsteinschätzung vor der ersten BLS-Simulation einen BLS selbstständig durchzuführen

Die Selbsteinschätzung einen BLS durchführen zu können, ergab in der Ratingskala 1 – 10 den Durchschnittswert 6,3 (Abb. 9). In das obere Drittel der

Skala ordneten sich 15 Probanden ein, in das mittlere Drittel 23. Ein Proband gab sich den höchsten Wert, drei Probanden schätzten sich unterdurchschnittlich ein. Mehrheitlich ordneten sich die Probanden durchschnittlich bis gut in ihrer BLS-Durchführung ein.

Die Ratingwerte der Selbsteinschätzung einen BLS durchführen zu können, ergab im Gegensatz zur Fitnessseinschätzung keine homogene Verteilung.

Dieses ist wohl einerseits Ausdruck von mangelnder Übung und bestehender Unsicherheit bei einer als existenziell wichtig angesehenen Aufgabe und andererseits bei ca. einem Drittel der Probanden Ausdruck einer vorhandenen Selbstsicherheit für diese Aufgabe. Anzumerken ist, dass die Probanden der vorliegenden Studie sich zum Teil noch in Ausbildung zur Fachpflege oder am Anfang ihrer ärztlichen Tätigkeit befinden. Bei der Frage nach vorbestehender Reanimationserfahrung gaben über ein Drittel der Probanden an, bisher entweder an keiner oder höchstens zehnmal an einer Reanimation teilgenommen zu haben. 37 % hatten in dem vergangenen Jahr keine Reanimation erlebt. Zusammen mit der Feststellung einer relativ niedrigen regelhaften Megacode-Beteiligung, ist diese Selbsteinschätzung schlüssig.

4.3.5.3. Selbsteinschätzung der noch vorhandenen körperlichen Belastbarkeit nach Beendigung der achtminütigen BLS-Simulationen im normal, warm und kalt klimatisierten Raum

Nach jeder der achtminütigen BLS-Simulationen erfolgte eine Selbsteinschätzung der Probanden über ihre noch vorhandene körperliche Belastbarkeit mittels Ratingskala mit Skalierung von total erschöpft bis noch voll belastbar (Tab. 7, Abb. 10). Die Befragung der Probanden zeigte im zeitlichen Ablauf der Studie, zuerst durchgeführt im normal, dann im warm und zuletzt im kalt klimatisierten Raum, eine Zunahme ihrer eingeschätzten

noch vorhandenen körperlichen Belastbarkeit. Nach Abschluss der zweiten BLS-Simulation wurde eine höhere körperliche Belastbarkeit angegeben als nach der ersten, nach der dritten eine höhere als nach der zweiten BLS-Simulation (Abb. 10). Dies ist als Trainingseffekt des BLS im Versuchsablauf dieser Studie zu interpretieren.

4.3.5.4. Geäußerte Ablösungswünsche während der achtminütigen BLS-Simulationen

Aufgrund eigener Einschätzung, der subjektiv empfundenen Erschöpfung mit nachlassender Qualität der Thoraxkompressionen, war die Anzahl der Probanden, die eine Ablösung wünschten, im Verlauf der Untersuchung abnehmend (Abb. 11, 12). Im Warmraum, der auf 32 °C aufgeheizt und mit 100 % Luftfeuchtigkeit angereichert wurde, war, verglichen mit der zuvor im normal klimatisierten Raum durchgeführten Simulation, die Anzahl der geäußerten Ablösungswünsche halbiert.

Der Anteil der Probanden, die keine Ablösung wünschten, war im Verlauf der Untersuchung entsprechend ansteigend. Im ersten normal klimatisierten Durchgang waren es ca. 75 %, im zweiten warm klimatisierten Raum 88 %, im kalt klimatisierten, dem dritten Durchgang, ca. 90 %. Im gesamten Studienablauf brach nur ein Proband wegen körperlicher Erschöpfung die Simulation in der sechsten Minute unter normal klimatisierten Bedingungen ab. Im weiteren Versuchsablauf äußerte dieser Proband in den folgenden BLS-Simulationen weder einen Ablösungswunsch, noch gab er bei der Befragung seiner vorhandenen körperlichen Belastbarkeit nach den BLS-Simulationen in der warmen und kalten Umgebung grenzwertig niedrige Belastungsstufen an. Auch bei diesem Probanden zeigt sich der Trainingseffekt im Studienverlauf.

4.3.6. Laktat und physiologische Belastbarkeit

Zur Einschätzung über das Ausmaß der physischen Belastung der Helfer, die die Thoraxkompressionen ausübten, wurde die Laktatkonzentration vor und nach dem dritten Versuchsablauf im Kühlraum bestimmt.

Der Ruhelaktatwert im Blut wird in dem Bereich von 0,8 – 1,5 mmol/L angegeben [47]. In der Sportmedizin ist während anhaltender sportlicher Belastung ein Blutlaktatwert von 4 mmol/L als aerob-anaerobe Schwelle für die Ausdauerleistungsfähigkeit ermittelt worden [47, 72]. Unterhalb dieses Grenzwertes befindet sich die Laktatproduktion und -elimination im Gleichgewicht. Unter Belastung bei inadäquatem Sauerstoffangebot, d.h. bei anaeroben Bedingungen, deckt der Muskel zunehmend seinen Energiebedarf durch anaerobe Glykolyse. Dabei übersteigt die Laktatproduktion die -elimination. Eine anhaltende Belastungsanforderung mit weiter ansteigender Laktatmenge führt zu Übersäuerung in der Muskelzelle und im Blut. Niedrige pH-Werte führen zur Hemmung der Glykolyse und der ATP-Resynthese. Die Folgen sind Kontraktionsinsuffizienz des Muskels und rasch einsetzende periphere Ermüdung. Das physische Leistungsniveau, bei dem der Schwellenwert von 4 mmol/L erreicht wird, ist trainingsabhängig. Belastungstraining führt hauptsächlich durch ein erhöhtes Herzzeitvolumen und verbesserte Kapillarisation des Muskels zu einer gesteigerten aeroben, oxydativen Kapazität und somit zusätzlich zu einer Verbesserung der Laktatutilisation in den Skelettmuskeln.

Nach der achtminütigen BLS-Simulation in der Kühlkammer stieg der Mittelwert der Laktatkonzentration von 1,08 auf 3,02 mmol/L an. Dies ist ein Anstieg des Blutlaktatspiegels im Durchschnitt um das 2,7-fache. Nach sportphysiologischen Untersuchungen [47] entspricht dieser Anstieg einer mittelschweren körperlichen Arbeit. Die Werte streuten in dem Bereich von 1,2 bis maximal 5,7 mmol/L (Abb.13, 14). Bei sieben Probanden lagen die

gemessenen Blutlaktatwerte über der definierten aerob-anaeroben Schwelle von 4 mmol/L. Diese Probanden überschritten im achtminütigen Versuchsablauf nach o. a. Definition messbar die Grenze ihrer Ausdauerleistungsfähigkeit. Bei neun Probanden blieb der Anstieg des Blutlaktats unter 2 mmol/L, drei von diesen Probanden hatten Werte knapp über 1 mmol/L. Dies weist bei diesen Probanden auf ihr überdurchschnittliches Fitnessniveau hin.

Bei dem überwiegenden Teil der Probanden, bei denen die Laktatmessung durchgeführt wurde, überschritt die physische Belastung einer achtminütigen BLS-Simulation nicht ihre Ausdauerleistungsfähigkeit.

In dieser Studie wurde die Laktatmessung auf freiwilliger Basis, nicht bei allen Probanden und nur bei der BLS-Simulation im Kühlraum durchgeführt. Die Werte bestätigen vorhergehende Untersuchungen zur physiologischen Belastbarkeit der CPR-Helfer.

In der Studie von Lucia et al. [45], die die Bedeutung der körperlichen Fitness der Helfer für die Durchführung einer CPR feststellte, wurden körperlich aktive, unerfahrene CPR-Helfer mit sportlich inaktiven, aber Erfahrenen verglichen. In beiden Gruppen wurden adäquate gleichwertige Thoraxkompressionen registriert. Vor und nach der CPR-Simulation war in beiden Gruppen ein vergleichbarer Anstieg der Laktatwerte in einem Bereich wie in der vorliegenden Studie gemessen worden. Zwischen den Gruppen der sportlich Aktiven und Inaktiven bestand kein signifikanter Unterschied.

Betz et al. [8] verglichen die fünfminütige BLS-Durchführung und ihre Belastung für die Helfer bei den unterschiedlichen Kompressions-Beatmungsverhältnissen 30 : 2 und 15 : 2. Auch in dieser Studie wurden Laktatwerte im Mittel unterhalb der Ausdauerbelastungsgrenze in einem Bereich von 1,4 – 2,2 mmol/L gemessen. Die Werte unterschieden sich in beiden Gruppen nicht signifikant.

Havel et al. [33] untersuchten die körperliche Beanspruchung der CPR-Helfer nach einer achtminütigen CPR während des Transports im Hubschrauber und im Ambulanzfahrzeug. Der normale Laktatlevel wurde mit 0,5 – 2,2 mmol/L angegeben. Sie fanden nur geringfügig erhöhte Laktatwerte unter 4 mmol/L. Wie Van Hoeyweghen et al. [74] in ihrer Studie über die physiologische Reaktion auf CPR-Training beschreiben, sind die Reanimationsmaßnahmen notwendigerweise anstrengend, aber von gesunden CPR-Helfern gut durchführbar. Die gemessenen Laktatwerte der zitierten Studien zeigen den aeroben Stoffwechselzustand der Helfer während und nach der CPR-Durchführung. Sie unterstützen die sportphysiologische Aussage bezüglich der körperlichen Beanspruchung einer CPR als mittelschwere Arbeit. Der Vergleich von Lucia et al. [45] von sportlichen mit unsportlichen Helfern zeigt die höhere körperliche Belastbarkeit der sportlichen Helfer, auch wenn die CPR-Ergebnisse sich in beiden Gruppen nicht signifikant unterschieden.

Schlussfolgernd ist eine achtminütige BLS–Simulation sportphysiologisch als mittelschwere Arbeit einzuordnen. Der größte Teil, ca. 80 % der Probanden, überschritt bei dieser Aufgabe nicht die Grenzen seiner Ausdauerleistungsfähigkeit.

Ein bestimmter Level von Fitness der Rettungshelfer ist für die Durchführung von effektiven Thoraxkompressionen bei länger andauernden Reanimationen von Vorteil.

4.3.7. Messergebnisse der Thoraxkompressionen

4.3.7.1. Hands-off-time

Die gemessene Hands-off-time steht stellvertretend für die No-flow-time. Die No-flow-time wird definiert als die Zeit des Kreislaufstillstands, abzüglich der Zeit der Thoraxkompressionsapplikation und der spontanen Kreislaufzirkulation.

$$\text{No-flow-time} = \text{time}_{\text{total}} - \text{time}_{\text{Compression}} - \text{time}_{\text{spontaneous Circulation}}$$

Davon abgeleitet wird die No-flow-ratio, als Verhältnis der No-flow-time zu der gesamten Zeit des Kreislaufstillstands.

$$\text{No-flow-ratio} = \text{No-flow-time} / (\text{time}_{\text{total}} - \text{time}_{\text{Spontaneous Circulation}})$$

Die No-flow-time und No-flow-ratio repräsentieren die Zeit während einer Reanimation ohne zerebrale und myokardiale Perfusion.

In vorhergehenden Untersuchungen wurde während der CPR mittels zusätzlicher Sensoren in den Defibrillationspaddels oder eines Pads über dem Sternum des Reanimierten die Qualität der gegebenen Thoraxkompressionen erfasst. Gemessen wird dabei nicht der Blutfluss, sondern die Hands-off-time, die Zeit, in der weder der Thorax komprimiert noch entlastet wird, etwa zur Durchführung der Beatmung, bei diagnostischen Maßnahmen oder während des Helferwechsels.

In der vorliegenden Untersuchung wird als wesentliches Kriterium zur qualitativen Beurteilung einer CPR, die Hands-off-time miterfasst. Sie wird in dieser Studie durch die Simulationspuppe und mittels der Software, Laerdal PC SkillReporting System, registriert und dokumentiert.

Nach den Vorgaben der Empfehlungen des ERC 2005 und 2010 die CPR mit einer Frequenz von 100 pro Minute und das Kompressions-Beatmungs-Verhältnis 30 : 2 durchzuführen, ergibt sich folgende zeitliche Aufteilung:

- eine Kompression mit Entlastung jeweils gleichlang: 0,6 s;
- 30 Kompressionen mit jeweils folgender Entlastung: 18 s;
- ein Beatmungshub mit Ein- und Ausatmung: 2 s; zwei Beatmungshübe: 4 s;
- ein Kompressions – Beatmungszyklus: 22 s.

Zeitachse: BLS Ablauf

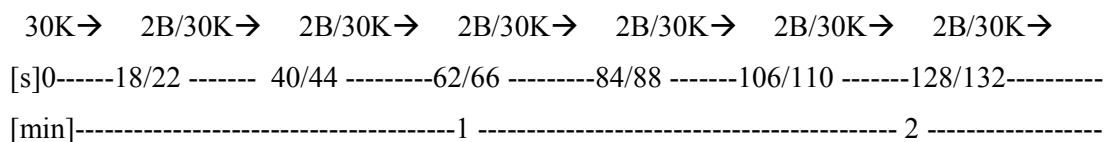


Abb. 26, K= Thoraxkompressionen, B= Beatmungshübe

Entsprechend diesem theoretischen Ablauf (Abb. 26) werden pro Minute entweder zwei mal zwei oder drei mal zwei Beatmungshübe appliziert. In der ersten Minute werden für vier Beatmungshübe acht Sekunden und in der zweiten Minute für sechs Beatmungshübe 12 Sekunden benötigt. Der daraus errechnete Anteil für die Hands-off-time in der ersten Minute ergibt 13 %, in der zweiten Minute 20 %. Der dargestellte rechnerisch theoretische Ablauf ist in der praktischen Umsetzung nicht immer exakt zu verwirklichen. Ein maschinell reibungsloser Ablauf wird, wenn überhaupt, nur selten erreicht. Bei der Durchführung der CPR werden von den Probanden unter anderem Handpositionen korrigiert, Beatmungshübe verlängert gegeben, fehlerhafte Beatmungen wiederholt, oder die kniende Körperposition neben der Simulationspuppe verbessert.

In der vorliegenden Studie stieg der minütlich gemessene Anteil der mittleren Hands-off-time (Tab. 8) in der acht Minuten andauernden Simulation im normal klimatisierten Raum von 18 % auf 22 %, im warm klimatisierten von

16 % auf 18 % und im kalt klimatisierten Raum von 16 % auf 19 % . Diese gemessenen Zeiten sind für den BLS mit einem Kompressions-Beatmungs Verhältnis von 30 : 2 als akzeptabel zu werten. Statistisch wurde zwischen den Simulationen in den verschiedenen klimatisierten Räumen kein Unterschied berechnet.

Insgesamt unterschritten die Probanden im Durchschnitt während der acht Minuten andauernden BLS-Simulation nicht die Kompressionsanzahl, die vom ERC in den Leitlinien 2005 [25] gefordert werden.

Olasveengen et al. [54] beschrieben 2007 in einer retrospektiven Studie die Zunahme der Hands-off-time während des Transports im Vergleich mit der CPR vor dem Transport. Die Hands-off-ratio stieg von 19 % vor dem Transport auf 27 % während des Transports an. Aus diesem Grund empfehlen die Autoren vor einem Patiententransport den Zustand des Patienten, wenn möglich, zu stabilisieren.

Beachtung fand die Studie von Wik et al. [77], die bei präklinisch durchgeführten Reanimationen, nach den ERC-Empfehlungen 2000, feststellte, dass bei den Reanimationen fast die Hälfte der Zeit keine Thoraxkompressionen verabreicht wurden. Die durchschnittlich gemessene No-flow-ratio war 48 %. Nach Berücksichtigung der Zeit für EKG-Analyse, Defibrillation und Pulscheck waren es immer noch 38 % der Zeit des Kreislaufstillstands, in der keine Thoraxkompressionen appliziert wurden.

4.3.7.2. Qualität der Thoraxkompressionen und selbst empfundene körperliche Belastbarkeit

Die vorliegende Studie bestätigt die Ergebnisse vorhergehender Untersuchungen über die Abnahme der Thoaxkompressionsqualität im BLS-Verlauf.

Die Minderung der CPR-Qualität war schon nach den ersten Minuten der Simulation messbar. In allen drei Klimagruppen wurde eine signifikante Abnahme der Anzahl von Thoraxkompressionen (Abb. 15) nach der ersten Minute, eine Abnahme der Drucktiefe (Abb. 16) nach der zweiten Minute und die Zunahme der Hands-off-time (Abb. 17, Tab. 8) nach der ersten Minute registriert.

Zwischen den Klimagruppen ergab die minütliche Auswertung der Hands-off-time keinen signifikanten Unterschied.

Die in fünf von acht Minuten signifikant niedrigere Anzahl von Kompressionen und abnehmende Drucktiefe in der Kaltgruppe, verglichen mit der normal klimatisierten Gruppe, weist auf den zusätzlich belastenden Effekt der Durchführung von Thoraxkompressionen in kalter Umgebung hin. Die Kälte wurde von den Probanden während des aeroben Bewegungsablaufs der externen HDM weniger belastend empfunden als das zusätzliche Tragen der Rettungsdienstjacke.

Die Selbsteinschätzung der Probanden über die noch vorhandene körperliche Belastbarkeit nach der achtminütigen BLS-Simulation ergab jedoch für die in kalt klimatisierter Umgebung ausgeführte BLS-Simulation im Mittel einen höheren Wert, entsprechend einer geringer empfundenen Erschöpfung, als in der normal klimatisierten Umgebung (Tab.2, Abb.10). Die durchschnittlichen VRS-Werte über die noch vorhandene Belastbarkeit der Probanden nach den Simulationen waren im Verlauf normal, warm und kalt klimatisierter Raum zunehmend.

Die Anzahl der Probanden, die vor Beendigung der achtminütigen BLS-Simulation eine Ablösung wünschten, war im Verlauf der Studie abnehmend. Die Abnahme von Anzahl und Drucktiefe der Thoraxkompressionen in kalter, verglichen mit der Durchführung in normal klimatisierter Umgebung, entsprach nicht der selbst empfundenen Wahrnehmung der Probanden bezüglich ihrer körperlichen Belastbarkeit. In den Untersuchungen von Hightower [36], Ashton [4] und Ochoa [53] wurde ebenfalls eine Diskrepanz in

der Effektivität der verabreichten Kompressionen und der Selbsteinschätzung der Helfer während des BLS-Ablaufs beschrieben.

Die selbst empfundene erhöhte körperliche Belastbarkeit und die seltener geäußerten Ablösungswünsche, während und nach der dritten BLS-Simulation im Kaltraum, kann man als Trainingseffekt innerhalb dieser Untersuchung interpretieren.

Auch ist die Einschätzung der Dauer während der Simulationen und demzufolge die Einschätzung der Bewältigung der BLS-Simulation, für die Probanden unterschiedlich zu werten. Eine zeitliche Orientierung während des Versuchsablaufs war den Probanden nicht möglich. Es ist anzunehmen, dass während der dritten BLS-Simulation die achtminütige HDM-Dauer nicht mehr als so „endlos“ anstrengend erlebt wurde wie beim ersten Durchgang und es deshalb für die Probanden eher möglich erschien, die CPR-Simulation durchzuhalten und selbst beenden zu wollen.

Bei der minütlichen Auswertung der fehlerfrei durchgeführten Thoraxkompressionen (Tab. 9, Abb. 18) zeigte sich innerhalb einer Klimagruppe kein signifikanter Unterschied. Im Vergleich der normal und warm klimatisierten, jeweils mit der kalt klimatisierten Gruppe war eine signifikante Zunahme der Anzahl von korrekt durchgeführten Thoraxkompressionen in der Kaltgruppe nachweisbar, trotz der Feststellung, dass im Gruppenvergleich, als Hinweis für eine erhöhte Belastung im Kaltraum, eine Abnahme der Kompressionsanzahl und der Drucktiefe registriert wurden. Es liegt nahe, die Verbesserung der korrekten Durchführung in der für die Probanden dritten CPR-Simulation als positiven Trainingseffekt zu werten. Weiterhin ist denkbar, dass aufgrund der verbesserten und fehlerfreien Durchführung der Thoraxkompressionen, der exakt durchgeführte Ablauf anstrengender ist und früher auftretende Erschöpfung sich durch die messbare Abnahme der Kompressionsanzahl und -drucktiefe offenbart.

4.3.7.2.1. Boxplots

Die Analyse der Häufigkeitsverteilung von korrekten Kompressionen mittels Boxplots zeigt für die Probanden im Warmraum eine Abnahme sowie im Kaltraum eine Zunahme.

Für die drei verschiedenen klimatisierten Räume stellt sich in den Boxplots Diagrammen (Abb. 19 - 21) folgende Häufigkeitsverteilung der minütlich gemessenen korrekt durchgeführten Thoraxkompressionen dar:

Im normal klimatisierten Raum ist in den ersten drei Minuten eine Häufung unter 30 % zu verzeichnen. In der vierten Minute steigt der Anteil auf 60 % und in der fünften bis achten Minute wird eine Häufung zwischen 50 – 60 %, bei gleichzeitig signifikanter Abnahme der Kompressionsanzahl und Kompressionsdrucktiefe dargestellt.

Im Warmraum zeigt sich von der ersten bis zur achten Minute der niedrigste Anteil von korrekten Thoraxkompressionen. Die Häufung stellt sich in einem Bereich um 20 bis 30 % dar. Auffällig ist die erhöhte Zahl an Ausreißern über 95 %. Der geringere Anteil von korrekten Thoraxkompressionen der Probanden im warm klimatisierten Raum über den gesamten Zeitraum deutet auf eine hinzugekommene Belastung der Helfer hin.

Auf die Frage nach ihrer noch vorhandenen körperlichen Belastbarkeit nach der BLS-Simulation gaben die Probanden im Warmraum jedoch eine subjektiv größere Belastbarkeit an als im normal klimatisierten Raum. Auch die Hälfte der Anzahl der geäußerten Ablösungswünsche während der zweiten BLS-Simulation im Warmraum, verglichen mit dem normal klimatisierten BLS, ist nicht in Übereinstimmung mit der gemessenen Kompressionsqualität zu bringen.

Im Kaltraum zeigt das Boxplots Diagramm der korrekten Thoraxkompressionen im gesamten achtminütigen Verlauf eine Häufung über 60 %, mit einem Maximum in der fünften und sechsten Minute um 80 %. Die Anzahl der Ausreißer ist geringer als in den vorherigen Simulationen.

4.3.8. Ergebnisse der Studie

Für den Zwei-Helfer-BLS ist zu fordern:

1. Wenn möglich sollte ein Wechsel der Helfer nach zwei Minuten, unabhängig von der empfundenen Fitness des Helfers, durchgeführt werden. Die nicht evidenzbasierten Empfehlungen zum Helferwechsel des ERC 2005 und 2010 werden bestätigt.
2. In Reanimationssituationen unter klimatisch belastenden Bedingungen ist ein Helferwechsel nach einer Minute zu erwägen.
3. In Reanimationssituationen, in denen ein reibungsloser Wechsel der Helfer unmöglich ist, ist der Wechsel nach zwei Minuten, unter Berücksichtigung der körperlichen Belastbarkeit des Helfers, nicht zwingend erforderlich.
4. Regelmäßige jährliche Teilnahme am Megacodetraining für professionelle Helfer ist nachdrücklich zu fordern.

5. Zusammenfassung

Der Zwei-Helfer-BLS wird mit Thoraxkompressionen und Maskenbeatmung entsprechend den ERC-Guidelines 2005 und 2010 in einem Verhältnis von 30 : 2 durchgeführt. Für den Helfer, der die Thoraxkompressionen durchführt, soll ein Wechsel nach zwei Minuten erfolgen, um eine erschöpfungsbedingte Effektivitätsabnahme zu vermeiden. Andererseits ist eine Unterbrechung der Thoraxkompressionen durch Personenwechsel, Beatmung und diagnostisch-therapeutische Maßnahmen auf ein Minimum zu begrenzen, um die No-flow-time von Hirn- und Koronararterien während einer Reanimation so kurz wie möglich werden zu lassen.

Ziel dieser Studie war es, einen optimalen Wechselzeitpunkt der CPR-Helfer unter verschiedenen klimatischen Bedingungen zu ermitteln.

In einer randomisierten Simulationsstudie führten 41 reanimationserfahrene Krankenhausmitarbeiter achtminütige BLS-Simulationen in normal, warm und kalt klimatisierter Umgebung an dem Reanimationsmodell ResusciAnne® der Firma Laerdal™ durch.

Primäre Endpunkte waren die minütlichen Veränderungen der Kompressionsanzahl, der Kompressionstiefe, der Hands-off-time und der korrekt gegebenen Thoraxkompressionen, sowie die subjektiv empfundene Erschöpfung desjenigen, der die Thoraxkompressionen appliziert. Mittels des Laerdal PC SkillReporting Systems™ wurden die verabreichten Thoraxkompressionen erfasst und dokumentiert. Zur statistischen Auswertung wurde die univariate Varianzanalyse nach Bonferroni oder die Friedman-Analyse mit Dunn`s Post Test angewandt. Als statistisch signifikant wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit für $\alpha < 5\%$ bestimmt ($P < 0,05$).

Zusätzlich beantworteten die Probanden Fragen nach ihrer Kenntnis der zu diesem Zeitpunkt aktuellen Reanimationsempfehlungen des ERC 2005 und ihrer CPR-Erfahrung. Vor und nach der Simulation im Kaltraum wurde bei 34 Probanden der Blutlaktatwert gemessen. Der Anstieg des Blutlaktatspiegels

nach der Simulation im Kaltraum entspricht einer mittelschweren körperlichen Anstrengung.

Die geäußerten Ablösungswünsche der Probanden wurden im Studienverlauf weniger. In der ersten, normal klimatisierten Simulation waren es 10, während der zweiten im Warmraum waren es fünf, in der dritten Simulation im Kaltraum vier Probanden.

Der BLS über acht Minuten ohne Aufgabenwechsel der Helfer führt bereits nach der ersten Minute zu einem messbaren Qualitätsverlust bezüglich der Kompressionsanzahl und der Hands-off-time und nach der zweiten Minute zu flacher werdenden Thoraxkompressionen. Dieser Effekt war im Warm- und Kaltraum deutlicher messbar, jedoch nicht durchgehend signifikant unterschiedlich. Anzumerken ist die positive Auswirkung des Trainingseffekts für den BLS-Ablauf. Die dritte Simulation im kalten Raum zeigt eine signifikante Steigerung der korrekt gegebenen Thoraxkompressionen.

Es besteht eine Diskrepanz bei der Selbsteinschätzung der Probanden über ihre selbst empfundene Belastungsfähigkeit und der Anzahl ihrer Ablösungswünsche mit den gemessenen Ergebnissen ihrer Thoraxkompressionen. Im Gesamten entsprachen die achtminütigen BLS-Simulationen in den drei verschiedenen Klimaräumen im Mittel den Forderungen des ERC 2005. Bei Beurteilung entsprechend den aktualisierten ERC-Empfehlungen 2010 [52] waren Drucktiefe und Frequenz der HDM im unteren Mindestbereich.

Die Studienergebnisse bestätigen die nicht evidenzbasierten Empfehlungen des ERC 2005 und 2010, einen Helferwechsel nach zwei Minuten unabhängig von der empfundenen Fitness des Helfers durchzuführen. In klimatisch belasteten Situationen ist ein Wechsel schon nach der ersten Minute sinnvoll. In Reanimationssituationen, in denen ein reibungsloser Wechsel der Helfer unmöglich ist, ist ein Wechsel nach zwei Minuten jedoch nicht zwingend erforderlich. Bestätigt wird die Forderung für professionelle Helfer, verpflichtend regelmäßig am Megacodetraining teilzunehmen.

5.1. Summary

According to the ERC guidelines of 2005 and 2010, two rescuers basic life support (BLS) with a compression-ventilation ratio of 30:2 is recommended. It is suggested to switch chest compressors approximately every 2 minutes to prevent fatigue leading to decreases in CPR efficacy. Otherwise, interruptions of chest compressions by switching compressors, delivering ventilations or diagnostic or therapeutic interventions should be minimized to reduce coronary and cerebral no-flow time during the resuscitation.

The goal of this study was to determine the optimal time to switch compressors in various climatical conditions. 41 professional health care providers trained in CPR performed eight minutes of BLS in a randomized simulation study using an interactive manikin, ResusciAnne[®] Simulator (Laerdal[™]) in normal, warm and cold climatic conditions. Primary endpoints were changes in total number of chest compressions, depth of compressions, hands-off-time, number of correctly applied chest compressions minute-by-minute as well as the compressor's subjective sensation of fatigue. Using the Laerdal PC SkillReporting Systems[™] the chest compressions applied were recorded and analysed.

Data were analysed using Bonferroni's univariate analysis of variance (ANOVA) or Friedman's analysis with Dunn's post test where appropriate. Statistical significance was defined as a *P* value less than 0,05.

In addition, test persons answered questions regarding their formal knowledge of current resuscitation guidelines and their CPR experience. Before and after the simulation study in the cold condition, blood lactate testing was performed in 34 test persons. The observed increase in blood lactate after the simulation in the cold condition is equivalent to average effort exercise. The declared wishes to switch compressors declined during the study intervals. In the first setting, normal climatic conditions, there were ten test persons, in the second setting, warm climatic conditions, five test persons

and in the last setting, cold climatic conditions, four test persons who wished to switch during the study period of eight minutes.

Simulated BLS over eight minutes without switching compressors resulted in less compressions and increases in hands-off-time after one minute as well as inadequate depth of chest compressions after two minutes. These effects were more pronounced in the warm and cold climatic conditions without reaching statistical significance every minute. There was a noticeable training effect during the study period: the third BLS simulation in the cold climatic condition resulted in statistically significant more correctly applied chest compressions. There was discrepancy in test persons' self-assessment on physical capacity and total number of wishes to switch with the quality of chest compressions recorded. Overall, BLS simulation over eight minutes in all three climatic conditions was consistent with average ERC 2005 standards. According to the updated ERC guidelines of 2010, depth of compressions as well as frequency of compressions during simulation were in the lower minimum range.

The results of the study confirm the ERC recommendations of 2005 and 2010 that lack evidence to switch compressors after two minutes independent of personal fitness and self-assessment. In extreme climatic conditions, compressor's switch may be reasonable even after one minute. During resuscitation in conditions when switching compressors is challenging, this switch after two minutes is not mandatory. The results of this study are consistent with the demand to train professional health care providers in CPR on a routine basis.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Abella BS, Alvarado JP, Myklebust H et al. *Quality of cardiopulmonary resuscitation during in-hospital cardiac arrest*. JAMA 2005;293:305-310
- [2] Abella BS, Sandbo N, Vassilatos P et al. *Chest compression rates during cardio-pulmonary resuscitation are suboptimal – A prospective study during in-hospital cardiac arrest*. Circulation 2005;111:428-434
- [3] American Heart Association in collaboration with International Liaison Committee on Resuscitation. *Guidelines 2000 for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care*. Circulation 2000;102(suppl):I 1-384
- [4] Ashton A, McCluskey A, Gwinnutt CL et al. *Effect of rescuer fatigue on performance of continuous external chest compressions over 3 min*. Resuscitation 2002;55:151-155
- [5] Babbs CF. *Chest compression technik – a neglected key of success*. Kap.9: S. 155-176. In: Ornato JP, Peberdy A. *Cardiopulmonary Resuscitation*. 2005 Humana Press Inc., eISBN 1-59259-814-5
- [6] Baskett TF, Kis M. *Janos Balassa and resuscitation by chest compression*. Resuscitation 2005;65:11-13
- [7] Baskett TF. *Sylvesters technique of artificial respiration*. Resuscitation 2007; 74:8-10. Originalartikel: Silvester HR. *A new method of resuscitating still-born children, and of restoring the persons apparently drowned or dead*. BMJ 1858;2:576-579
- [8] Betz AE, Callaway CW, Hostler D et al. *Work of cpr during two different compression to ventilation ratios with real-time feedback*. Resuscitation 2008;79: 278-282
- [9] Bobrow BJ, Clark LL, Ewy GA et al. *Minimally interrupted cardiac resuscitation by emergency medical services for out-of-hospital cardiac arrest*. JAMA 2008;299(10):1158-1165
- [10] Bridgewater FHG, Bridgewater KJ, Zeitz CJ. *Using the ability to perform cpr as a standard of fitness: a consideration of the influence of aging on the physiological responses of a select group of first aiders performing cardiopulmonary resuscitation*. Resuscitation 2000;45:97-103

- [11] Brown TB, Dias JA, Saini D et al. *Relationship between knowledge of cardiopulmonary resuscitation guidelines and performance*. Resuscitation 2006; 69:253-261
- [12] *Cardiopulmonary resuscitation: statement by the Ad Hoc Committee on Cardiopulmonary Resuscitation, of the Division of Medical Sciences, National Academy of Sciences, National Research Council*. JAMA 1966;198:372-379
- [13] Chung TN, Kim SW, Cho YS et al. *Effect of vehicle speed on the quality of closed-chest compression during ambulance transport*. Resuscitation 2010;81:841-847
- [14] Cooper JA, Cooper JD, Cooper JM. *Cardiopulmonary resuscitation: history, current practice and future direction*. Circulation 2006;114:2839-2849
- [15] Criley JM, Blaufuss AH, Kissel GL. *Cough-induced cardiac compression: self administered form of cardiopulmonary resuscitation*. JAMA 1976;236:1246-1250
- [16] Cummins RO, Chamberlain DA, Abramson NS et al. *Recommended guidelines for uniform reporting of data from out-of-hospital cardiac arrest: the utstein style. A statement for health professionals from a task force of the american heart association, the european resuscitation council, the heart and stroke foundation of canada, and the australian resuscitation council*. Circulation 1991;84:960-975
- [17] Deshmukh HG, Weil MH, Gudipati CV et al. *Mechanism of blood flow generated by precordial compression during cpr. I. Studies on closed chest precordial compression*. Chest 1989;95:1092-1099
- [18] Dick WE. *Evidence based emergency medicine*. Anaesthetist 1998;47:957-967
- [19] Edelson DP, Abella BS, Kramer-Johansen J et al. *Effects of compression depth and pre-shockpauses predict defibrillation failure during cardiac arrest*. Resuscitation 2006;71:137-145
- [20] Eftestol T, Stunde K, Steen PA et al. *Effects of interrupting precordial compression on the calculated probability of defibrillation success during out-of-hospital cardiac arrest*. Circulation 2002;105:2270-2273

- [21] Elam JO, Brown ES, Elder JD. *Artificial respiration by mouth-to-mask method-A study of respiratory gas exchange of paralyzed patients ventilated by operator's expired air.* NEJM 1954;250:749-754
- [22] Elam JO, Greene DG, Brown ES et al. *Oxygen and carbon dioxide exchange and energy cost of expired air resuscitation.* JAMA 1958;167:328-334
- [23] Elam JO, Greene DG. *Mission accomplished: successful mouth-to-mouth resuscitation;* Anesth Analg 1961;40:578-580
- [24] European Commision. *Health statistics - Atlas on mortality in the european union.* Eurostat statistical books, 2009 Edition:107-123; ISBN 978-92-79-08763-9;
- [25] European Resuscitation Council. *Guidelines for resuscitation 2005.* Resuscitation 2005;67S1
- [26] Eurostat, statistisches Amt der Europäischen Union. *Gesamtbevölkerung der einzelnen Mitgliedsstaaten.* <http://ec.europa.eu/eurostat>, Recherche: 15.5.2010
- [27] Executive Office des European Resuscitation Council und des German Resuscitation Council. *Advisory statement of the european resuscitation council on basic life support.* 31 March 2008. www.erc.edu
- [28] Field JM, Hazinski MF, Sayre M et al. *2010 American Heart Association Guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care.* Circulation 2010;122:Supp 3
- [29] Futterman LG, Lemberg L. *Cardiopulmonary resuscitation review: critical role of chest compressions.* Am J Crit Care 2005;14(1):81-84
- [30] Gräsner JT, Franz R, Jantzen M et al. *Plötzlicher Herztod und Reanimation – Eine Analyse der Jahre 2007 und 2008 in Deutschland.* Anästhesiologie und Intensivmedizin 2010;51:66-74
- [31] Greene DG, Bauer RO, Elam JO et al. *Expired air resuscitation in paralyzed human subjects.* J Appl Physiol 1957;11:313-318
- [32] *Guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiac care.* JAMA 1992;286:2135-2302

- [33] Havel C, Herkner H, Haugk M et al. *Physical strain on advanced life support providers in different out of hospital environments*. Resuscitation 2008;77:81-86
- [34] Havel C, Schreiber W, Riedmuller E et al. *Quality of closed chest compression in ambulance vehicles, flying helicopters and at the scene*. Resuscitation 2007;73:264-270
- [35] Heidenreich JW, Berg RA, Higdon TA et al. *Rescuer fatigue: standard versus continuous chest-compression cardiopulmonary resuscitation*. Acad Emerg Med 2006;13:1020-1026.
- [36] Hightower D, Thomas SH, Stone CK et. al. *Decay in quality of closed-chest compression over time*. Ann Emerg Med 1995; 26:300-303
- [37] International Liaison Committee on Resuscitation. *2005 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations*. Circulation 2005;112:Part 1: Introduction
- [38] International Liaison Committee on Resuscitation. *2005 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendations*. Resuscitation 2005;67:157-337
- [39] International Liaison Committee on Resuscitation. *International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science with Treatment Recommendation*. Resuscitation 2005;67:167-170
- [40] Jones AYM; *Can cardiopulmonary resuscitation injure the back?* Resuscitation 2004;61:63-67
- [41] Kern KB, Hilwig RW, Berg RA et al. *Efficacy of chest compression-only bls cpr in the presence of an occluded airway*. Resuscitation 1998;39:179-188
- [42] Koenig F zitiert in: Urban G. *Lehrbuch der kleinen Chirurgie*. Leipzig: Veit & Comp.1896.
- [43] Kouwenhoven WB, Jude JR, Knickerbocker GG. *Closed-chest cardiac massage*. JAMA 1960;173:1064-1067
- [44] Liu P, Gao Y, Fu X et al. *Pump model assessed by transesophageal echocardiography during cardiopulmonary resuscitation*, Chin Med J 2002; 115(3)359-363

- [45] Lucia A, Heras de la JF, Perez M, et. al. *The importance of physical fitness in the performance of adequate cardiopulmonary resuscitation.* Chest 1999;115:158-164
- [46] Maass F. *Die Methode der Wiederbelebung bei Herztod nach Chloroformeinatmung.* Berliner Klinische Wochenschrift 1892;12:265-268
- [47] Marees de H, Heck H, Bartmus U. *Energiestoffwechsel, Sportmedizinische Leistungsdiagnostik.* In: *Sportphysiologie*, 9. Aufl. 2003, Sportverlag Strauß
- [48] Neset A, Birkenes TS, Myklebust H et al. *A randomized trial of the capability of elderly lay persons to perform chest compression only cpr versus standard 30:2 CPR.* Resuscitation 2010;81:887-892
- [49] Niederlaender E. *Statistik kurz gefasst. Bevölkerung und soziale Bedingungen, Todesursachen in der EU.* Eurostat, 2006;10:1-12; ISSN 1024-4379, Katalognummer: KS-NK-06-010-DE-N
- [50] Niemann JT, Rosborough JP, Hausknecht M et al. *Pressure-synchronized cineangiography during experimental cardiopulmonary resuscitation.* Circulation 1981;64:985-991
- [51] Nolan JP, Hazinski MF, Steen PA et al. *Controversial topics from the 2005 international consensus conference on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendation.* Resuscitation 2005;67:3-6
- [52] Nolan JP, Soar J, Zideman DA et al. *European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2010.* Resuscitation 2010; 81:1219-1451
- [53] Ochoa FJ, Ramalle-Gómara E, Lisa V et al. *The effect of rescuer fatigue on the quality of chest compressions.* Resuscitation 1998;37:149-152
- [54] Olasveengen TM, Wik L, Steen PA. *Quality of cardiopulmonary resuscitation before and during transport in out-of-hospital cardiac arrest.* Resuscitation 2008;76: 185-190
- [55] Paradis NA, Martin GB, Goetting MG. *Simultaneous aortic, jugular bulb, and right atrial pressures during cardiopulmonary resuscitation in humans. Insights into mechanisms.* Circulation 1989;80:361–368.
- [56] Paradis NA, Martin GB, Rivers EP et al. *Coronary perfusion pressure and the return of spontaneous circulation in human cardiopulmonary resuscitation.* JAMA 1990;263:1106-1113

- [57] Peberdy MA, Silver A, Ornato JP. *Effect of caregiver gender, age, and feedback prompts on chest compression rate and depth*. Resuscitation 2009;80:1169-1174
- [58] *Recommendation of the symposium on emergency resuscitation. Stavanger, Norway, August 21-25, 1961*. JAMA 1961;178:748
- [59] Riera SQ, Gonzalez BS, Alvareza TJ et al. *The physiological effect on rescuers of doing 2 min of uninterrupted chest compressions*. Resuscitation 2007;74:108-112
- [60] Rittenberger JC, Guimond G, Platt TE et al. *Quality of bls decreases with increasing resuscitation complexity*. Resuscitation 2006;68:365-369
- [61] Rudikoff MT, Mauhhan WL, Effron M et al. *Mechanisms of blood flow during cardiopulmonary resuscitation*. Circulation 1980;61:345-352
- [62] Safar P, Brown TC, Holtey WJ, Wilder RJ. *Ventilation and circulation with closed-chest cardiac massage in man*. JAMA 1961;176:574-576
- [63] Safar P. *Ventilatory efficiency of mouth-to-mouth artificial respiration*. JAMA 1958;167:335-341
- [64] Schmittinger CA, Herff H, Wenzel V et al. *Kardiopulmonale Reanimation*. In: *Kompendium der Intensivmedizin*. Band 2 III, 22; 22. Verlag ecomed Medizin, Ergänzung-Lieferung 5/2007
- [65] Sell RE, Sarno R, Lawrence B et al. *Minimizing pre- and post-defibrillation pauses increases the likelihood of return of spontaneous circulation*. Resuscitation 2010;81:822-825
- [66] Soto-Ruiz KM, Varon J. *George W. Crile: A visionary mind in resuscitation*. Resuscitation 2009;80:6-8
- [67] *Standards and guidelines for cardiopulmonary resuscitation (CPR) and emergency cardiac care (ECC)*. JAMA 1980; 244:453-509
- [68] *Standards and guidelines for cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiac care*. National Academy of Sciences- National Research Council, JAMA 1986;255:2905-2989
- [69] *Standards for cardiopulmonary resuscitation (CPR) and emergency cardiac care (ECC)*. 3. *Advanced life support*. JAMA 1974; 227(suppl):852-860

- [70] Steen S, Liao Q, Pierre L et al. *The critical importance of minimal delay between chest compressions and subsequent defibrillation: a haemodynamic explanation*. Resuscitation 2003;58:249-258
- [71] *The Founding Members of the International Liaison Committee on Resuscitation. The International Liaison Committee on Resuscitation (ILCOR)-past, present and future*. Resuscitation 2005;67:157-161
- [72] Thews G, Vaupel P. *Energiehaushalt und Arbeitsphysiologie*. In: *Vegetative Physiologie*. Springer Verlag 4.Aufl. 2001;S:276-301
- [73] Tipton M, David G, Eglin C et al. *Basic life support on small boats at sea*. Resuscitation 2007;75:332-337
- [74] Van Hoeyweghen RJ, Verbruggen G, Rademakers F et al. *The physiologic response of cpr training*. Ann Emerg Med 1991;20(3):279-282
- [75] Verplancke T, de Paepe P, Calle PA et al. *Determinants of the quality of basic life support by hospital nurses*. Resuscitation 2008;77:75-80
- [76] Werner JA, Greene HL, Janko CL et al. *Visualization of cardiac valve motion in man during external chest compression using two dimensional echocardiography. Implication regarding the mechanism of blood flow*. Circulation 1981;63:1417-1421
- [77] Wik L, Kramer-Johanson J, Myklebust H et.al. *Quality of cardiopulmonary resuscitation during out-of-hospital cardiac arrest*. JAMA 2005;293:299-304
- [78] Wik L, Steen PA, Bircher NG. *Quality of bystander cardiopulmonary resuscitation influences outcome after prehospital cardiac arrest*. Resuscitation 1994;28:195-203
- [79] Yu T, Weil MH, Tang W et al. *Adverse outcomes of interrupted precordial compression during automated defibrillation*. Circulation 2002;106:358-372

7. Anhang

Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abbildung 1	Modell ResusciAnne®, Quelle: Firma Laerdal™	20
Abbildung 2	Laerdal PC Skill Reporting System, Quelle: Firma Laerdal™	21
Abbildung 3	Beispiel BLS-Simulation im Kühlraum	25
Abbildung 4	Beispiel der grafischen Darstellung einer BLS-Simulation mittels PC-Skillreporting System	27
Abbildung 5	Beispiel der numerische Datenerfassung einer BLS-Simulation durch das Laerdal PC-Skillreporting System	28
Abbildung 6	Diagramm zur Frage 3, Gruppierung der Probanden nach Häufigkeit von jemals durchgeführten CPRs	35
Abbildung 7	Diagramm zur Frage 4, Gruppierung der Probanden nach CPR-Häufigkeit im vergangenen Jahr	36
Abbildung 8	Diagramm Häufigkeitsverteilung der Probanden nach selbst eingeschätztem Ratingskala Wert des allgemeinen körperlichen Trainingszustands vor dem Versuch	38
Abbildung 9	Diagramm Häufigkeitsverteilung der Probanden nach selbst eingeschätztem Ratingskala Wert des BLS-Trainingszustands vor dem Versuch	39
Abbildung 10	Diagramm Selbsteinschätzung der körperlichen Belastbarkeit nach achtminütiger BLS-Simulation, VRS-Wert, MW und SD	41
Abbildung 11	Diagramm Häufigkeitsverteilung der Probanden mit geäußertem Ablösungswunsch während der BLS-Simulation den ablaufenden Minuten zugeordnet	42
Abbildung 12	Diagramm Anzahl der Probanden mit geäußertem Ablösungswunsch während der achtminütigen BLS-Simulation im normal, warm und kalt klimatisiertem Raum	43
Abbildung 13	Diagramm Laktatwerte der 34 Probanden vor und nach der	44

BLS-Simulation in der Kältekammer

Abbildung 14	Diagramm Laktat Mittelwerte, SD, vor und nach der BLS-Simulation im Kühlraum	45
Abbildung 15	Diagramm Anzahl der Thoraxkompressionen pro Minute	46
Abbildung 16	Diagramm Thoraxkompressionstiefe pro Minute	48
Abbildung 17	Diagramm mittlere prozentuale Hands-off-time pro Minute	49
Abbildung 18	Diagramm prozentual fehlerfreie Kompressionen pro Minute	52
Abbildung 19 - 21	Diagramme Boxplots der korrekten Thoraxkompressionen in Prozent für jede Minute des achtminütigen BLS, jeweils im normal, warm und kalt klimatisierten Raum	53/ 54
Abbildung 22	Diagramm wichtige Todesursachen nach Fünfjahresklassen, Quelle: statistisches Amt der Europäischen Union	57
Abbildung 23	Aus: Baskett TF. <i>Sylvesters technique of artificial respiration</i> . Resuscitation 2007; 74:8-10	60
Abbildung 24	Aus: Soto-Ruiz K, Varon J. <i>George W. Crile: A visionary mind in resuscitation</i> . Resuscitation 2009; 80:6-8;	63
Abbildung 25	Aus: W. Dick. <i>Blutfluss während der Reanimation</i> . Notfall- und Intensivmedizin 1982	67
Abbildung 26	Zeitachse BLS Ablauf	88

Tabellen

		Seite
Tabelle 1	Levels of Evidence	11
Tabelle 2	Klassifikation der Empfehlungen	12
Tabelle 3	Minütliche Auflistung der Kompressionen im Kühlraum	29
Tabelle 4	Minütliche Auflistung der durchschnittlichen Kompressionstiefe im Kühlraum	30

Tabelle 5	Minütliche Auflistung der Hands-off-time in Sekunden im Kühlraum	31
Tabelle 6	Verteilung der 41 Probanden	33
Tabelle 7	Selbsteinschätzung der körperlichen Belastbarkeit nach achtminütigem BLS	40
Tabelle 8	Anzahl der Thoraxkompressionen pro Minute	47
Tabelle 9	Kompressionstiefe pro Minute	48
Tabelle 10	Mittlere prozentuale Hands-off-time in Prozent pro Minute	50
Tabelle 11	Prozentuale fehlerfreie Kompressionen pro Minute	51

Publikationen

Byhahn C, Wirth R, Eberhart L, Schellein O, Hofstetter C, Bremerich DH;
WATN 09-04 Ermüdung des Personals während Basic-Life-Support.
5. Treffen der wissenschaftlich tätigen Arbeitsgruppen der Deutschen
Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin im Bereich
Notfallmedizin 1.- 2. Februar 2009 in Kiel;
Notfall + Rettungsmedizin Suppl 1 · 2009; 12:1-17

Wirth R, Bremerich DH, Byhahn C, Hofstetter C, Schellein O;
Ermüdung der Helfer und Qualität eines achtminütigen Zyklus Basic-Life-
Support ohne Aufgabenwechsel im Team.
Deutscher Anästhesiekongress 9. – 12. Mai 2009, Leipzig 1.5.5.

Danksagung

Das Zustandekommen der vorliegenden Arbeit wäre ohne die wohlwollende Unterstützung und Hilfe von vielen Anderen nicht möglich gewesen, allen möchte ich an dieser Stelle meinen Dank ausdrücken.

An vorderster Stelle möchte ich mich bei Frau Professor Dr. D. H. Bremerich bedanken, für die Überlassung und Vorbereitung des Promotionsthemas, für ihre Betreuung während der Erstellung der Arbeit, ihre fachliche Supervision, die konstruktiven Anregungen und ihre abschließende Durchsicht der Dissertation. Ohne ihre Bereitschaft wäre diese Arbeit nicht zustande gekommen.

Herrn Prof. Dr. L. Eberhart für die gewährte Unterstützung, Prüfung und für die Bereitschaft diese Dissertation in seinem Fachbereich, Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie der Philipps-Universität Marburg zu vertreten.

Des Weiteren Dank an PD Dr. C. Byhahn aus der anästhesiologischen Klinik der Universität Frankfurt, für dessen kompetente Hilfestellung bei der Planung und insbesondere für den statistischen Teil der Arbeit.

Ganz besonderen Dank gebührt meinen Kolleginnen und Kollegen, den Pflegemitarbeitern aus der Abteilung für Anästhesie und operativen

Intensivstation und den Pflegern und Schwestern mit administrativen Aufgaben des St. Vincenz Krankenhauses in Limburg, ohne deren engagierte Mitarbeit die Studie nicht hätte durchgeführt werden können.

Ich danke Frau Grein, Leiterin der physikalischen Abteilung für die unkomplizierte Überlassung des Warmraums, ebenso Herrn Kempf, Leiter der Krankenhausküche, für die Bereitstellung des Kühlraums. Beide Räume waren für die Durchführung der Studie essenziell.

Herrn Röhrenbeck der Firma Laerdal Medical GmbH sei für die zur Verfügung gestellte Simulationspuppe Resusci Anne[®] und der Software PC Skillreporting System gedankt.

Ausdrücklich möchte ich meiner Frau Sonja Ander-Wirth und meiner Tochter Lara danken, einmal für ihr gründliches Gegenlesen, darüber hinaus für ihr Verständnis und Einfühlungsvermögen während des Zustandekommens dieser Arbeit.

Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren die Damen/ Herren

in Gießen:

Bauer H, Buerger HJ, Dorndorf W, Dreyer F, Dudeck J, Fleischer G,
Glanz H, Hempelmann G, Kaufmann H, Kratz N, Künzel W, Lampert F,
Lasch HG, Laube H, Lieven v. H, Lindemann H, Linnemann F, Neuhäuser G,
Rau WS, Reimer CH, Rotaue CF, Schiefer HG, Schill WB, Schuhmacher W,
Schulz A, Schwemmle K, Stuerz H, Teschemacher HJ, Traube H, Weiler G,
Wellensieck HJ, Zeisberger E,

in Marburg:

Eberhart L, Wulf H,

in Limburg:

Bremerich HD

Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel „Effektivität der Herz-Druck-Massage während des Basic-Life-Support von professionellen Helfern unter verschiedenen klimatischen Umgebungsbedingungen“, in der Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie unter Leitung von Univ.- Prof. Dr. med. H. Wulf und durch Prof. Dr. med. L. Eberhart und mit Unterstützung der Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin des St. Vincenz Krankenhauses in Limburg unter Leitung von Frau Prof. Dr. med. D. H. Bremerich, ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen, als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Gießen den 15. 02. 2011